

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



**CONVERSOR USB 2.0 – RS485 CON INTERFASE DE
SEGURIDAD INTRÍNSECA**

PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ELECTRICIDAD

Autor: Javier Casas Portela

Tutor: José María Prieto Ogando.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y mi hermana porque ellos me han enseñado que la vida es una carrera llena de obstáculos, unos más sencillos de sortear, otros más complicados, pero todos ellos con una línea de meta que más tarde o más temprano llega, lo importante es no parar para alcanzarla.

A Moni, por todo el apoyo y confianza que me ha aportado durante todos estos años. Por su paciencia y comprensión en los momentos difíciles haciéndome ver siempre la parte positiva de las cosas, sabiendo personalmente lo que es pasar por esto.

A mi familia política, los Velasco Zamorano y compañía, por ser los primeros en concederme el título de ingeniero.

A mis amigos, por estar ahí en los buenos y malos momentos recordándome que algún día llegaría el momento en el que escribiera esto.

A mis compañeros de clase, por hacer de la universidad un lugar y una etapa muy especial que no olvidaré nunca.

A mis compañeros de trabajo, por toda la dedicación y ayuda incondicional prestada durante todo este tiempo. Porque gran parte de los conocimientos y experiencia adquirida se lo debo a ellos. En especial a mi tutor en Stahl, Herr Jürgen Rapp, por su gran apoyo en una situación tan difícil, del cual he aprendido enormemente y al cual no olvidaré.

Agradezco por último y especialmente a mi tutor Jose María Prieto la ayuda, los consejos y la orientación prestados para que todo saliera bien, ya que sin su ayuda este barco no habría podido llegar a buen puerto.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
3	ESTADO DEL ARTE.....	4
3.1	Protección contra explosiones.....	4
3.1.1	Fundamentos físicos y definiciones.....	4
3.1.1.1	Explosión	4
3.1.1.2	Temperatura de inflamación.....	5
3.1.1.3	Límite de explosividad.....	5
3.1.2	Clasificaciones contra explosión.....	7
3.1.2.1	Zonas.....	7
3.1.2.2	Clases Térmicas	8
3.1.2.3	Grupos de Explosión	9
3.1.2.4	Marcado	10
3.1.2.5	Modos de protección	12
3.2	Seguridad Intrínseca	14
3.2.1	En qué industrias aplica la seguridad intrínseca	15
3.3	Estándar USB	16
3.3.1	Historia	17
3.3.2	Evolución de USB a través de los años	18
3.3.3	Conexiones de un puerto USB.....	20
3.3.4	Principales ventajas del estándar USB	21
3.4	RS-485.....	23
3.4.1	Normas RS232	23
3.5	Consideraciones en la comunicación serie	23
3.6	Velocidad de transmisión.....	23
3.7	La base de reloj.....	24
3.8	Líneas o canales de comunicación	24
3.9	Modos de transmisión	25
3.10	La transmisión asíncrona.....	25
3.10.1	Bit de inicio y bit de parada.....	26
3.10.2	Reglas de transmisión asíncrona	26
3.10.3	Velocidad de transmisión	27
3.11	La transmisión síncrona	29
3.12	Detectar errores en la comunicación	30
3.12.1	Generadores y detectores de paridad.....	30
3.12.1.1	Paridad par.....	31
3.12.1.2	Paridad impar	31
3.12.1.3	Ejemplo:	32
3.13	La sincronización de la recepción.....	34
3.14	La norma RS485.....	35
3.14.1	Conectores	36
3.14.2	Descripción de terminales en RS232	36
3.15	RS232 en el PC	38
3.15.1	Direcciones e IRQ de los puertos serie	39
3.15.2	Conector Serie DB25	40
3.15.3	Conector Serie DB9	42
3.15.4	Adaptador de 9 a 25 patillas	44
3.15.5	Tipos de conexiones con DB9.....	45
3.15.6	Conexión del PC a una impresora serie.....	47
3.15.7	Tipos de cables	47
3.15.7.1	Cable de extensión serie	47

3.15.7.2	Cable de modem nulo (null-modem)	48
3.15.8	Configuración de los puertos	48
4.1.1	Cable de conexión	52
4.2	Diseño del circuito impreso (PCB).....	53
4.2.1	Consideraciones Generales	54
4.2.1.1	- Funciones básicas de un circuito impreso:	54
4.2.1.2	Ventajas de los circuitos impresos con respecto a los circuitos convencionales.....	54
4.2.1.3	Limitaciones de los circuitos impresos.....	55
4.2.1.4	Elementos básicos de un circuito impreso.....	56
4.2.2	Clasificación de las placas impresas	57
4.2.2.1	Categorías de las placas impresas según su densidad en componentes y en interconexiones.	57
4.2.2.2	Densidades de las placas impresas.	57
4.2.2.3	Sistema de clasificación.	58
4.2.2.3.1	Límites mínimos dimensionales para cada clase de placa impresa.....	59
4.2.2.4	MATERIALES USADOS EN LA PLACA BASE O SOPORTE AISLANTE	61
4.2.2.5	EL TAMAÑO y LA FORMA DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS	62
4.2.2.6	ESPESOR DEL MATERIAL BASE	63
4.2.2.7	DEFORMACIONES O ALABEOS	63
4.2.2.8	AGUJEROS	63
4.2.2.8.1	Punzonado.....	63
4.2.2.8.2	Taladrado.	64
4.2.2.9	IMPRESIÓN CONDUCTORA.....	64
4.2.2.10	TERMINACIONES DE ENTRADA y SALIDA.	65
5	Fabricación del PCB.....	66
5.1	Diseño del circuito electrónico	66
5.2	Diseño físico de la placa	71
5.3	Fabricación	74
5.3.1	Proceso de insolación	74
5.3.2	Proceso de revelado	75
5.3.3	Proceso del atacado	77
5.3.4	Aclarado y secado	78
5.3.5	Perfilado y cortado	79
5.3.6	Perforado	80
5.4	Montaje de la placa	83
5.5	Testeado del circuito.....	85
5.6	Fabricado de una nueva revisión	88
5.7	Diseño de la última revisión.	92
7	Conclusiones.....	99
8	Comentarios	100
9	Referencias.....	101
10	Anexos.....	102
10.1	Esquema eléctrico del circuito	102
10.2	Plano localización de componentes	103
10.3	Conexión de componentes	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Factores que provocan una explosión.....	4
Figura 3.2. Límites de explosividad.....	5
Figura: Evolución de los conectores USB.....	18
Figura: USB 1.0	18
Figura: USB 2.0	19
Figura: USB 3.0	19
Figura: tarjeta de comunicaciones USB.....	21
Figura: Chip USB UART	66
Figura: Vista general del circuito con CADSTAR 14	67
Figura: Optoacoplador en Cadstar 2014.....	68
Figura: Transceptor RS485 y conexión con puerto DB9.	69
Figura: Vista en Cadstar 14 del circuito UBS-RS485	71
Figura: Fuente de alimentación en Cadstar 14.....	72
Figura: Vista general de la primera placa.	73
Figura: Fotolitos superpuestos	74
Figura: Fotolitos separados	75
Figura: Lámpara UV	75
Figura: sosa cáustica	76
Figura: Baño de la placa.....	76
Figura: Baño en ácido de la placa	77
Figura: placa colgada enjuagando en agua.....	78
Figura: horno de secado	79
Figura: Cortado de placas	80
Figura: resumen de agujeros de la placa	80
Figura: Disposición de los agujeros	81
Figura: taladro perforando la placa.	82
Figura: comienzo del soldado de componentes.....	83
Figura: Soldado de componentes con informe de CADSTAR.	83
Figura: Intensidad máxima admisible para circuitos inductivos.....	86
Figura: segunda revisión del circuito.....	88
Figura: muestra de señal en osciloscopio.....	89
Figura: testeo de la corriente máxima de la placa	89
Figura: Dispositivo para simular señales Modbus	90
Figura: ejemplo de tarjeta para montaje en bastidor	91
Figura: parte superior (transmisión de señales).....	92
Figura: problemas soldadura	93
Figura: Parte superior definitiva	93
Figura: Fuente de alimentación.....	94
Figura: vista general de la placa definitiva en Cadstar 14	94
Figura: test de la placa definitiva.....	97
Figura: Placa definitiva con transformador artesanal.	97
Figura: Placa definitiva terminada.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Clasificación de peligros en función de su temperatura de inflamación.	5
Tabla 3.2: Límites de explosividad de sustancias inflamables.	6
Tabla 3.3: Clasificación de zonas	7
Tabla: Clases térmicas	8
Tabla: Grupos de Explosión	9
Tabla: Modos de protección	13
Tabla: Niveles de seguridad	15
Tabla 3.4: puertos USB	20
Tabla 3.5: Capas del circuito	57
Tabla 3.6: Primer dígito	58
Tabla 3.7: Clasificación por densidad (placas sin agujeros)	59
Tabla 3.8: Clasificación por densidad (placas con agujeros metalizados)	60
Tabla 3.9: Clasificación por densidad (placas multicapa)	60



1 INTRODUCCIÓN

Siempre nos han conmovido las grandes catástrofes ocurridas en el mundo. Entre éstas se encuentran las producidas por explosiones en las industrias como en el caso de, Texas (EEUU) en 1947; Cubatao (Brasil) en 1984; Bhopal (India) en 1984; Acha Ufa (Rusia) en 1989; Toulouse (Francia) en 2001 y Hertfordsire (Gran Bretaña) en 2005 que han generado miles de muertos en total, pérdidas millonarias y daños verdaderamente graves para el medio ambiente.

En la Unión Europea cada año se producen más de 2000 explosiones de polvo o gas como consecuencia de su almacenamiento, manipulación y elaboración con materiales combustibles.

El riesgo de explosión, ya sea debida a gases/vapores inflamables o a polvos combustibles se da en los más diversos y variados procesos, afectando a múltiples sectores como pueden ser el agroalimentario, fabricación de muebles y procesado de maderas, textil, químico, reciclado, energético, biomasa, petroquímico, etc.

En caso de explosión, los trabajadores se hallan en peligro por los efectos de las llamas o presiones incontroladas en forma de radiación térmica, llamaradas, ondas de choque y proyección de cascotes, así como productos de reacción nocivos, y por falta de oxígeno para respirar.

En este marco las Directivas ATEX (ATmósfera EXplosiva) establecen las medidas necesarias para garantizar la seguridad frente a las explosiones. Como ATEX se conoce al conjunto de Directivas Europeas que regulan las atmósferas potencialmente explosivas. Estas directivas han sido traspuestas a los derechos nacionales de los estados miembros de la Unión Europea, y son de obligado cumplimiento. Así, en la Unión Europea las prescripciones de protección contra explosión se han agrupado en la Directiva 9/94/CE.

Dicha directiva entró en vigor el 30.06.2003. A nivel mundial la unificación de las normativas tiene aún un largo camino que recorrer.



R. STAHL, el experto en protección contra explosiones, consorcio establecido internacionalmente, es líder tecnológico en el sector. Con su programa de productos, que abarca desde dispositivos de conexión, pulsadores y lámparas, pasando por sistemas de mando, hasta sistemas completos, todos ellos antideflagrantes, es el único fabricante capaz de ofrecer el espectro completo de los distintos métodos de protección contra explosiones (modos de protección). Filiales en 20 países garantizan una distribución comercial que cubre todo el territorio y la realización de proyectos internacionales.

Sus principales clientes se encuentran en la industria del gas y del petróleo, así como en los sectores químico y farmacéutico. Pero también el sector de los productos alimentarios, la construcción naval y la industria de los biocombustibles deben utilizar productos antideflagrantes. De R. STAHL también se pueden encontrar productos en depuradoras, plantas de tratamiento de agua o en destilerías.



2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este proyecto nace ante la necesidad de realizar una modificación de un dispositivo básico utilizado en diversas industrias, donde la utilización de herramientas electrónicas e informáticas bajo condiciones de atmósfera explosiva, hace indispensable mejorar el nivel de seguridad de las mismas para prevenir posibles accidentes que puedan causar.

En definitiva, el objetivo de este proyecto es el de modificar el diseño básico de un adaptador USB – RS485 para que cumpla la normativa pertinente para poder ser utilizado en zonas potencialmente explosivas, para que cumpla los estándares de seguridad requeridos y sea seguro para los trabajadores y equipos localizados en dichas zonas.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 Protección contra explosiones

En numerosos ámbitos industriales, durante la fabricación, transporte, tratamiento y almacenamiento de sustancias inflamables aparecen o se fugan gases, vapores o nieblas, que se mezclan con el aire atmosférico. En otros procesos aparecen también polvos inflamables. Estos gases, vapores, nieblas y polvos combinados con el oxígeno del aire crean una atmósfera potencialmente explosiva que puede producir una explosión en caso de detonarse una ignición, que puede producir daños graves tanto a personas como a instalaciones.

3.1.1 Fundamentos físicos y definiciones

3.1.1.1 Explosión

La reacción química espontánea entre una sustancia inflamable y el oxígeno provoca una explosión con gran liberación de energía. Las sustancias inflamables pueden estar presentes en forma de gas, niebla, vapor o polvo. Una explosión sólo puede desarrollarse si confluyen tres factores: Una sustancia inflamable, oxígeno, y una fuente de ignición.

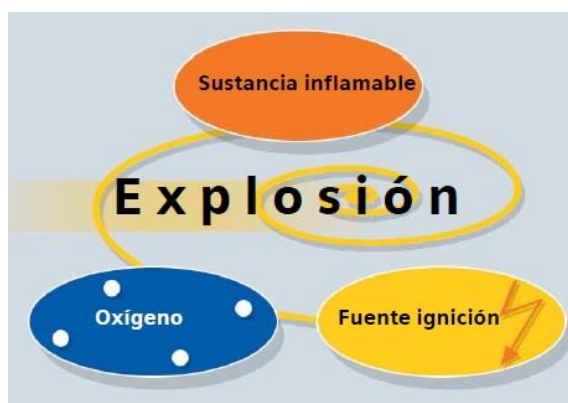


Figura 3.1. Factores que provocan una explosión.

3.1.1.2 Temperatura de inflamación

La temperatura de inflamación de líquidos inflamables define la temperatura más baja a partir de la cual se forma sobre la superficie del líquido una mezcla vapor-aire inflamable por ignición externa. Si la temperatura de inflamación de un líquido inflamable así está considerablemente por encima de la temperatura máxima que puede aparecer, entonces no puede formarse allí una atmósfera explosiva. Sin embargo, la temperatura de inflamación de una mezcla de diferentes líquidos puede ser inferior a la temperatura de inflamación de los diferentes componentes. Los líquidos inflamables se dividen en los reglamentos técnicos en cuatro clases de peligro:

Clase de peligro	Temperatura de inflamación
AI	<21 °C
AII	>21, < 55 °C
AIII	> 55, < 100 °C
B	< 21°C, a 15°C soluble en agua

Tabla 3.1. Clasificación de peligros en función de su temperatura de inflamación.

3.1.1.3 Límite de explosividad

Una atmósfera explosiva se forma cuando aquellas tienen una concentración dentro de un rango determinado (fig. 3.2). Cuando existen concentraciones demasiado reducidas (mezcla pobre) o altas (mezcla grasa), no tiene lugar ninguna explosión, sino una acción de combustión lenta o incluso ninguna.

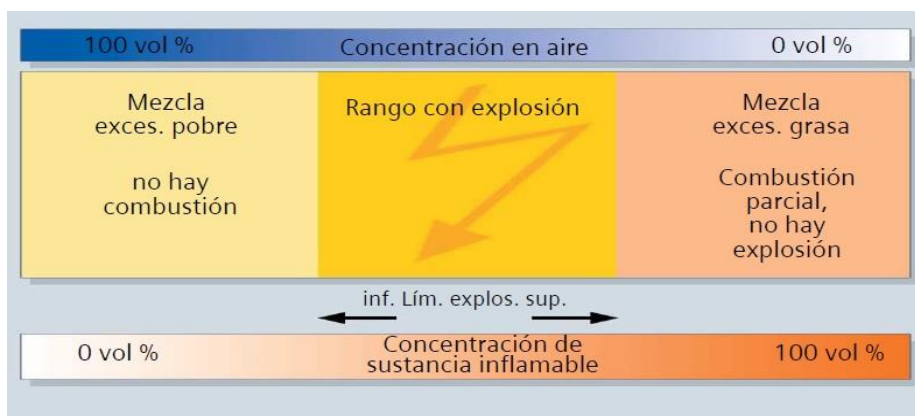


Figura 3.2. Límites de explosividad.



En caso de ignición, la mezcla solo explota dentro del rango comprendido entre los límites de explosividad superior e inferior. Estos límites dependen de la presión ambiental y de la concentración de oxígeno en el aire.

Dependiendo de la velocidad con la que evolucione la combustión se habla de deflagración, explosión o detonación. Una atmósfera explosiva es, según el R.D. 681/2003, la mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada. Se definen a su vez las condiciones atmosféricas como una temperatura entre -20°C y 60°C, y una presión entre 0,8 bar y 1,1 bar, según el artículo 4 de la Guía Europea de la Directiva 94/9/CE, transpuesta en el R.D. 400/1996.

Categoría de sustancia	Límite de explosión Inferior (Vol. %)	Límite de explosión Superior (Vol. %)
Acetileno	2,3	78
Etileno	2,4	32,6
Gasolina	~ 0,6	~ 8,0
Benceno	1,2	8,0
Diesel/ Fuel oil	~ 0,6	~ 6,5
Metano	4,4	17,0
Propano	1,7	10,8
Sulfuro de Carbono	0,6	60,0
Hidrógeno	4,0	77,0

Tabla 3.2: Límites de explosividad de sustancias inflamables.



3.1.2 Clasificaciones contra explosión

3.1.2.1 Zonas

Las atmósferas explosivas se clasifican en zonas. Esta clasificación depende de la probabilidad temporal y espacial de que aparezca una atmósfera explosiva peligrosa. Información y especificaciones para la clasificación en zonas figuran en EN/ IEC 60079-10.

El material instalado en áreas explosivas (zona 0/20) deben cumplir requisitos más altos que en el instalado en zonas menos peligrosas (zona 1/21, zona 2/22). Por regla general el 95 % del material está instalado en la zona 1 y sólo un 5 % en la zona 0.

	Zona	Categoría material	Descripción
Gases, vapores y nieblas	0	1G	Atmósfera peligrosa de forma permanente y durante largos periodos
	1	2G 1G	Puede preverse que la atmósfera explosiva peligrosa aparezca de forma ocasional
	2	3G 2G 1G	Puede contarse con que pueda aparecer una atmósfera explosiva peligrosa sólo de forma ocasional y, de producirse, sólo brevemente
Polvos	20	1D	Atmósfera peligrosa compuesta por mezclas de polvo y aire de forma permanente y durante largos periodos
	21	2D 1D	Puede preverse que la atmósfera explosiva peligrosa compuesta por mezclas de polvo y aire aparezca de forma ocasional
	22	3D 2D 1D	Puede contarse con que pueda aparecer una atmósfera explosiva peligrosa compuesta por mezclas de polvo y aire sólo de forma ocasional y, de producirse, sólo brevemente

Tabla 3.3: Clasificación de zonas

Como se puede ver en la tabla, la Zona 1 corresponde a áreas donde puede preverse que la atmósfera explosiva potencialmente peligrosa aparezca de forma ocasional, acorde al estándar EN60079-0, Y EN60079-11.



3.1.2.2 Clases Térmicas

La temperatura de ignición de un gas o líquido inflamable es la menor temperatura en una superficie caliente a partir de la cual se produce la ignición de la mezcla gas/aire o vapor/aire.

Por ello, la máxima temperatura superficial de un material debe ser siempre inferior a la temperatura de inflamación de la atmósfera envolvente.

Para aparatos eléctricos del grupo de explosión II se han introducido las clases de temperatura T1 a T6. El material se asigna a una clase de temperatura en base a su máxima temperatura superficial.

El material que cumple una determinada clase de temperatura puede usarse también en aplicaciones con menor clase de temperatura. Los gases y vapores inflamables se asignan a las clases de temperatura respectivas en base a su temperatura de inflamación

Clase de Temperatura	Temperatura Superficial Máxima
T1	450 °C
T2	300 °C
T3	200 °C
T4	135 °C
T5	100 °C
T6	85 °C

Tabla: Clases térmicas



3.1.2.3 Grupos de Explosión

En los grupos de explosión se diferencia en primer lugar entre grupo I y grupo II de material.

El material eléctrico del grupo I se aplican en minas con peligro de aparición de grisú.

Para el material eléctrico del grupo II se aplica una nueva subdivisión en grupos de explosión. Esta subdivisión depende de la capacidad de transmisión de la ignición a través de un intersticio con ancho máximo de seguridad y longitud dados (según EN 60079-14).

El material homologado para el grupo de explosión IIC puede aplicarse también para los grupos de explosión IIA y IIB.

Grupo de Explosión	Clase de Temperatura					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	Metano					
II A	Acetona Etano Acetato etílico Amoníaco Benceno (puro) Ácido acético Monóx. Carbono Dióx. carbono Metano Metanol Propano Tolueno	Alcohol etílico Acetato i-amílico Butano n n-alcohol butílico	Gasolinas Diesel Combustible aviones Fuel-oils n-hexano	Aldehido de acetilo Éter etílico		
II B	Gas ciudad (gas alumbrado)	Etileno				
II C	Hidrógeno	Acetileno				Sulfuro de Carbono





Tabla: Grupos de Explosión



3.1.2.4 Marcado

La Directiva 94/9/CE (ATEX 95) Anexo II prevé una identificación inequívoca para los equipos eléctricos destinados a atmósferas que requieren protección antideflagrante. Además, en las series de normas EN 60079 y EN 61241 se exige una identificación adicional. Ésta debe incluir al menos lo siguiente:

- Nombre y Dirección del fabricante
- En su caso, el número de serie
- Designación de la serie y el modelo
- Así como datos sobre el tipo de protección anti explosiones. Por ejemplo:

Gas		0102		II	2 G	Ex	me			II	T5
Polvo		0102		II	2 D	Ex	tD	A 21	IP65		T175°C
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

- 1 Símbolo de conformidad CE
- 2 Número de la entidad acreditada
- 3 Hexágono Ex, identificativo específico de la protección contra explosiones
- 4 Grupo de aparatos (I o II)
- 5 Categoría de aparatos (véase página 244)
- 6 Símbolo identificativo de que se ha utilizado una o varias normas de la serie EN 60079 o EN 61241. Antiguamente se utilizaba EEx para indicar que se trata de una norma europea.
- 7 Abreviatura del grado de protección contra ignición utilizado. Deben indicarse todos los grados de protección contra ignición utilizados en el equipo eléctrico. P. ej. "emb", es decir, grado de protección contra ignición: "e" Seguridad aumentada, "mb" Blindaje por encapsulado (categoría de aparato 2). Antiguamente no había grados de protección contra ignición para el área de polvos sino sólo "la protección por envolvente". Esto lo encontramos hoy en el grado de protección contra ignición "tD".
- 8 El grado de protección contra ignición "tD" se asegura con el ensayo de protección IP por el método "A". El método "B" es equivalente. El aparato ha sido concebido para la zona 21
- 9 En aparatos protegidos contra la explosión de polvos que presentan el grado de protección contra ignición "tD" se indica el grado de protección IP.
- 10 Grupo de explosión (II, IIA, IIB o IIC)
- 11 11. Clase de temperatura en gases. Temperatura máxima de la superficie para polvos.



Además, la identificación debe incluir datos sobre la entidad inspectora que ha inspeccionado el equipo eléctrico conforme a las normas pertinentes, por ejemplo:

BVS ENTIDAD AUTORIZADA

03 AÑO DE INSPECCIÓN

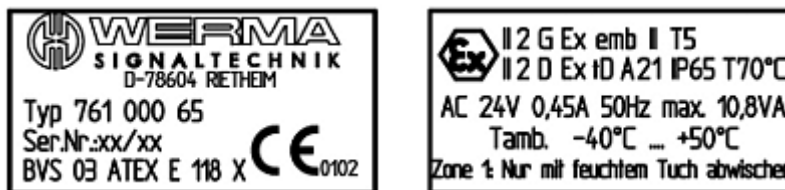
ATEX SEGÚN DIRECTIVA 94/4/CE

E 118 NÚM. SECU. DE LA CERTIFICACIÓN

X CONDICIONES PARTICULARES*

* En la medida en que corresponda

Ejemplo de identificación de un equipo eléctrico con protección antideflagrante:



"Zona 1: Limpiar sólo con un paño húmedo". La identificación mínima se complementa con indicaciones imprescindibles para el funcionamiento seguro. Además de la identificación prescrita, debe entregarse junto con cada aparato la declaración de conformidad. Por la misma, el fabricante declara el cumplimiento de las normas pertinentes y concretiza a qué Directivas Comunitarias se refiere en su conjunto el marcado CE. Debe adjuntarse a cada aparato un juego de instrucciones de montaje y de empleo. El usuario necesita estos dos documentos para documentar su instalación.



3.1.2.5 Modos de protección

Los modos de protección son medidas constructivas y eléctricas tomadas en el material para alcanzar protección contra explosión en atmósferas potencialmente explosivas.

Los modos de protección son medidas secundarias de protección contra explosión. El alcance de las medidas de protección secundaria contra explosión depende de la probabilidad de aparición de atmósfera explosiva peligrosa.

Los aparatos eléctricos para atmósferas explosivas deben cumplir las especificaciones generales de la norma EN 50014 y las especificaciones particulares para el modo de protección respectivo en el que están ejecutados.

Conforme a la EN 50014 son importantes los modos de protección representados en la página siguiente. Todos los modos de protección se basan en diferentes principios.





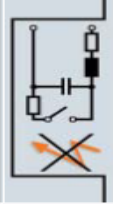

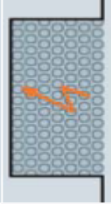

Modo de protección	Letra	Representación	Principio fundamental	Norma	Ejemplos	Zonas en las que aplica		
						Zona 0	Zona 1	Zona 2
Requisitos generales			Determinaciones Generales para el tipo constructivo y ensayo de material eléctrico destinados a atmósferas explosivas	EN 50014				
Seguridad aumentada	e		Aplicable al material o sus componentes que en caso normal no generan chispas ni arcos voltaicos, no pueden adoptar temperaturas peligrosas y cuya tensión de alimentación no supere 1 kV	EN 50 019 IEC 60 079-7	Bornes, cajas de conexión		X	X
Envolvente antideflagrante	d		Si se produce una ignición dentro de la envolvente, ésta resiste a la presión, es decir, la explosión no se propaga al exterior.	EN 50 018 IEC 60 079-1	Subestaciones de distribución, transformadores		X	X
Sobrepresión interna	p		La fuente de ignición es rodeada por un gas de protección bajo sobrepresión (min. 0,5 bar); la atmósfera exterior no puede penetrar.	EN 50016 IEC 60 079-2	Cuadros de mando, interruptores de distribución		X	X
Seguridad intrínseca	i		Limitando la energía existente en el circuito se evita la aparición de temperaturas excesivas, chispas y arcos voltaicos.	EN 50 020 IEC 60 079-11	Actuadores, sensores	X	X	X
Inmersión en aceite	o		El material o sus componentes quedan inmersos en aceite y separados así de la atmósfera explosiva.	EN 50 015 IEC 60 079-6	Transformadores, aparellaje		X	X
Pulverulento	q		La fuente de ignición queda rodeada por arena de grano fino. La atmósfera explosiva que rodea a la caja no puede inflamarse por un arco voltaico	EN 50 017 IEC 60 079-5	Bandas calefactoras, condensadores		X	X
Encapsulado	m		La fuente de ignición queda encerrada en una masa por lo que no puede inflamarse la atmósfera explosiva.	EN 50 028 IEC 60 079-18	Sensores, aparellaje		X	X

Tabla: Modos de protección



3.2 Seguridad Intrínseca

La seguridad intrínseca es un método de protección de equipos y personas empleado en ambientes potencialmente explosivos. Los instrumentos con certificación de seguridad intrínseca están diseñados para que no puedan emitir niveles de energía como para provocar la ignición de materiales inflamables. Las normas de seguridad intrínseca se aplican a todos los equipos que puedan generar alguna de las siguientes fuentes potenciales de explosión:

- Chispas eléctricas
- Arcos eléctricos
- Llamas
- Superficies con alta temperatura
- Electricidad estática
- Radiación electromagnética
- Reacciones químicas
- Impactos mecánicos
- Fricción mecánica
- Ignición por compresión
- Energía acústica
- Radiación ionizante

El modo de protección “seguridad intrínseca” se fundamenta en que para la ignición de una atmósfera explosiva se precisa una energía mínima determinada. En un circuito intrínsecamente seguro aparecen durante el funcionamiento ni en caso de fallo chispas ni un calentamiento térmico tales que causen la ignición de una atmósfera explosiva.

El material eléctrico de seguridad intrínseca y las piezas de seguridad intrínseca del material asociado se dividen en categorías (nivel de seguridad). El nivel de seguridad depende de los requisitos de seguridad y el diseño del material.



Nivel de seguridad	Descripción	Instalación del Material
ia	El material eléctrico de seguridad intrínseca no deberá provocar ninguna ignición · durante el funcionamiento normal · si aparece un fallo aislado · si aparece una combinación de fallos	Hasta Zona 0
ib	El material eléctrico de seguridad intrínseca no deberá provocar ninguna ignición · durante el funcionamiento normal · si aparece un fallo aislado	Zona 2, zona 1

Tabla: Niveles de seguridad

3.2.1 En qué industrias aplica la seguridad intrínseca

El concepto de seguridad intrínseca se aplica a cualquier entorno en el que pudieran aparecer vapores o polvos potencialmente explosivos. Las principales industrias en las que se aplican las medidas de seguridad intrínseca son:

- Industria petroquímica
- Plataformas petrolíferas y refinerías
- Plantas de gas natural
- Industria farmacéutica
- Tuberías/Conductos de transporte
- Fábricas de fertilizantes
- Fábricas de alimentación



3.3 Estándar USB

Desde su nacimiento hacia la mitad de la última década del siglo XX, y su masificación absoluta a comienzos del nuevo siglo, la tecnología USB se ha convertido en el tipo de interconector más usado en todo el mundo, incluso llegando a desplazar a otras tecnologías, que tras el éxito de USB se hundieron en el olvido. En este sentido, la posibilidad de usar un único tipo de conector estándar en lugar de un cable y conector específico para cada dispositivo fue la clave de la rápida y masiva implementación de este protocolo.

Además de esta razón, también existen otros motivos para la popularización de USB, entre ellos su facilidad de uso y transparencia, pero por sobre todo, su estandarización, lo que nos permite conectar toda clase de dispositivos tales como impresoras, cámaras digitales, smartphones, discos duros externos, pendrives, ratones, reproductores de MP3, tablets, scanners, teclados, lectores de tarjetas y muchos ejemplos más, no sólo en el ámbito hogareño, sino también en la industria.



3.3.1 Historia

No hace muchos años, no todo el mundo podía o sabía abrir un PC y ponerlo en funcionamiento o cambiar alguno de sus componentes, ya requería gran cantidad de conocimientos, y en el caso de los conectores, no era demasiado claro para qué servía cada cual. Además los fabricantes de hardware, cada vez que agregaban un nuevo modelo de placa al mercado, contemplaba el uso de un conector distinto, lo que complicaba aún más el asunto.

Es por ello, que a mediados de la década del 90, un consorcio de empresas conformado por Northern Telecom, Microsoft, Intel, NEC, IBM y Apple, entre otras, lanzaron al mercado la primer especificación del estándar USB, 1.0, a las que le siguieron USB 1.1 en el año 1998, USB 2.0, lanzada al mercado en abril de 2000 y USB 3.0, desembarcada en noviembre de 2008 y finalmente USB 3.1 en agosto de 2013, siendo esta la última versión de la especificación al momento.

3.3.2 Evolución de USB a través de los años

Como los demás estándares, USB tuvo que evolucionar para adaptarse a los cambios en la tecnología que se ofrecía al consumidor, cada vez más rápida y demandante de capacidad de transmisión. Es por ello que en las diferentes versiones del protocolo se han mejorado sus tasas de transferencia, el aspecto más importante en este punto.



Figura: Evolución de los conectores USB

En este sentido, la velocidad de transmisión de datos en las primeras versiones de USB no era particularmente alta, 1.5 Mb/s en la versión de la especificación 1.0 llegando hasta los 12 Mb/s en la versión 1.1. Sin embargo más velocidad en ese momento no era necesaria, ya que el estándar era utilizado mayormente en implementaciones de HID (Human Interface Device), es decir ratones, teclados y cámaras web, por ejemplo.



Figura: USB 1.0

Pero al crecer la demanda, y los dispositivos eran cada vez más veloces y necesitaban más ancho de banda para intercambiar datos entre ellos, se requirió una nueva versión, más adecuada a los tiempos modernos.



Figura: USB 2.0

Es por ello que USB 2.0 vio la luz, llevando la capacidad de transferencia hasta los 60 Mb/s, una cifra sustancialmente superior a lo que hasta entonces ofrecía, lo que le permitía a los usuarios disponer de ancho de banda suficiente para absolutamente todos los dispositivos que poseyera. Además, es retrocompatible, lo que significa que cualquier aparato diseñado para USB 1.0 también podía ser utilizado sin problemas, obviamente respetando la velocidad de transferencia menor. Tan extendido está esta versión de USB que todavía es la más utilizada en el mundo, aun cuando ya se encuentra implementada desde hace tiempo la versión 3.0.



Figura: USB 3.0



Con respecto a USB 3.0, es la versión actualmente en uso, dada a conocer en 2008 puede alcanzar hasta los 600 Mb/s, y es retro compatible con las versiones 1.0 y 2.0. Además ofrece una mayor potencia de alimentación: 900 miliamperios, lo que mejora significativamente los tiempos de carga de los dispositivos que se conecten a él. Sin embargo, USB 3.0 todavía no se encuentra totalmente extendido, quizás debido a que no existe demasiado hardware básico que utilice toda su capacidad.

La última revisión del protocolo es la 3.1, que puede llegar hasta unos increíbles 10 Gb/s de transferencia. Una de sus más interesantes características es que vendrá provistos de puertos reversibles, lo que significa que no habrá que preocuparse en momento de enchufar un dispositivo en ellos, dado que acepta ambos sentidos del conector.

3.3.3 Conexiones de un puerto USB

El puerto USB 2.0 tiene 4 pines, teniendo cada uno una función específica:

Pin	Nombre	Color de cable	Descripción
1	VCC	Rojo	+5 V
2	D-	Blanco	Data -
3	D+	Verde	Data +
4	GND	Negro	Tierra

Tabla 3.4: pines USB

3.3.4 Principales ventajas del estándar USB

La principal razón que llevó a la creación del estándar USB fue la necesidad de facilitar la conexión de dispositivos entre sí de forma sencilla y transparente a través de la estandarización de los conectores, lo que se logró de forma magnífica, pero además se obtuvieron una serie de ventajas muy interesantes.



Figura: tarjeta de comunicaciones USB

Una de las más importantes es que mediante USB, no es necesario que el dispositivo enchufado al puerto se encuentre conectado a una fuente externa de energía, salvo en contados casos como el de discos duros y otros dispositivos que consumen mucha energía. Asimismo, nos posibilita cargar la batería de tablets y teléfonos mientras los tenemos conectados al mismo.

Otra magnífica ventaja de USB es que es posible conectar hasta 127 dispositivos simultáneamente, aunque la velocidad de transferencia podría verse afectada. También ofrecen la capacidad “Plug & Play”, es decir que una vez conectada al puerto son reconocidos inmediatamente por el sistema operativo, y en la mayoría de los casos, estar listos para su uso.

También el protocolo permite la utilización de cables de hasta 5 metros de largo, pudiéndose aumentar la longitud mediante hubs o extensores, sin duda algo especialmente útil cuando tenemos que cubrir superficies amplias.



Por último, otra de las características más significativas de USB es que resulta extremadamente compatible con múltiples plataformas de hardware y sistemas operativos, ya que podemos encontrar implementaciones de dispositivos USB tanto en Windows, Mac o Linux, pero además podemos observarlos en la actualidad en televisores, radios, y muchos otros tipos de dispositivos, tanto de uso doméstico como industrial, como nos aplica en este proyecto.





3.4 RS-485

3.4.1 Normas RS232

Es una de las normas más populares empleadas en la comunicación serie (su inserción en el PC incremento su popularidad). Fue desarrollada en la década de los 60 para gobernar la interconexión de terminales y MODEM. Está patrocinada por la EIA (Asociación de Industrias Eléctricas), y de ella evolucionó más tarde la RS 485

Dado su interés se verá con más profundidad más adelante en la norma RS232

3.5 Consideraciones en la comunicación serie

Cuando se transmite información a través de una línea serie es necesario utilizar un sistema de codificación que permita resolver los siguientes problemas:

- **Sincronización de bits:** El receptor necesita saber dónde comienza y donde termina cada bit en la señal recibida para efectuar el muestreo de la misma en el centro del intervalo de cada símbolo (bit para señales binarias).
- **Sincronización del carácter:** La información serie se transmite por definición bit a bit, pero la misma tiene sentido en palabras o bytes.
- **Sincronización del mensaje:** Es necesario conocer el inicio y fin de una cadena de caracteres por parte del receptor para, por ejemplo, detectar algún error en la comunicación de un mensaje.

3.6 Velocidad de transmisión

La velocidad de transmisión de datos es expresada en bits por segundo o baudios. El baudio es un concepto más general que bit por segundo. El primero queda definido como el número de estados de la señal por segundo, si sólo existe dos estados (que pueden ser representados por un bit, que identifica dos unidades de información) entonces baudio es equivalente a bit por segundo. Baudio y bit por segundo se diferencian cuando es necesario más de un bit para representar más de dos estados de la señal.

La velocidad de transmisión queda limitada por el ancho de banda, potencia de señal y ruido en el conductor de señal. La velocidad de transmisión queda básicamente establecida por el reloj. Su misión es examinar o muestrear continuamente la línea para detectar la presencia o ausencia de los niveles de señal ya predefinidos. El reloj sincroniza además todos los componentes internos.



3.7 La base de reloj

Cuando se establece la comunicación es necesario implementar una base de tiempo que controle la velocidad. En un microcontrolador, se utilizaría la base de tiempos del reloj del sistema, si bien, en términos genéricos se utilizaría uno de los siguientes métodos:

- Mediante la división de la base de reloj del sistema. por ejemplo mediante un contador temporizador programable.
- A través de un oscilador TTL. Para cambiar frecuencia hay que cambiar el cristal.
- Generador de razón de baudios. Existen diferentes dispositivos especializados que generan diferentes frecuencias de reloj.

3.8 Líneas o canales de comunicación

Se pueden establecer canales para la comunicación de acuerdo a tres técnicas, siempre tomando al microprocesador o microcontrolador como referencia (transmisor) y al periférico como destino (receptor):

- Simplex
- Semi duplex (Half duplex)
- Totalmente duplex (Full duplex)

Simplex: En ella la comunicación serie usa una dirección y una línea de comunicación. Siempre existirá un transmisor y un receptor, no ambos.

La ventaja de este sistema consiste en que es necesario sólo un enlace a dos hilos.

La desventaja radica en que el extremo receptor no tiene ninguna forma de avisar al extremo transmisor sobre su estado y sobre la calidad de la información que se recibe. Esta es la razón por la cual, generalmente, no se utiliza.

Semi duplex: La comunicación serie se establece a través de una sola línea, pero en ambos sentidos. En un momento el transmisor enviará información y en otro recibirá, por lo que no se puede transferir información en ambos sentidos de forma simultánea.

Este modo permite la transmisión desde el extremo receptor de la información, sobre el estado de dicho receptor y sobre la calidad de la información recibida por lo que permite así la realización de procedimientos de detección y corrección de errores.

Full duplex: Se utilizan dos líneas (una transmisora y otra receptora) y se transfiere información en ambos sentidos. La ventaja de este método es que se puede transmitir y recibir información de manera simultánea.



La mayoría de los dispositivos especializados para la comunicación pueden transferir información tanto en full duplex como en half duplex (el modo simplex es un caso especial dentro de half duplex).

3.9 Modos de transmisión

Existen dos modos básicos para realizar la transmisión de datos y son:

- Modo asíncrono.
- Modo síncrono.

Las transmisiones asíncronas son aquellas en que los bits que constituyen el código de un carácter se emiten con la ayuda de impulsos suplementarios que permiten mantener en sincronismo los dos extremos.

En las transmisiones síncronas los caracteres se transmiten consecutivamente, no existiendo ni bit de inicio ni bit de parada entre los caracteres, estando dividida la corriente de caracteres en bloques, enviándose una secuencia de sincronización al inicio de cada bloque.

3.10 La transmisión asíncrona

Cuando se opera en modo asíncrono no existe una línea de reloj común que establezca la duración de un bit y el carácter puede ser enviado en cualquier momento. Esto conlleva que cada dispositivo tiene su propio reloj y que previamente se ha acordado que ambos dispositivos transmitirán datos a la misma velocidad.

No obstante, en un sistema digital, un reloj es normalmente utilizado para sincronizar la transferencia de datos entre las diferentes partes del sistema. El reloj definirá el inicio y fin de cada unidad de información así como la velocidad de transmisión. Si no existe reloj común, algún modo debe ser utilizado para sincronizar el mensaje.

En realidad, la frecuencia con que el reloj muestrea la línea de comunicación es mucho mayor que la cadencia con que llegan los datos. Por ejemplo, si los datos están llegando a una cadencia de 2400 bps, el reloj examinará la línea unas 19200 veces por segundo, es decir, ocho veces la cadencia binaria. La gran rapidez con que el reloj muestrea la línea, permite al dispositivo receptor detectar una transmisión de 1 a 0 o de 0 a 1 muy rápidamente, y mantener así la mejor sincronización entre los dispositivos emisor y receptor.

El tiempo por bit en una línea en que se transfiere la información a 2400 bps es de unos 416 microsegundos (1 seg/2400). Una frecuencia de muestreo de 2400 veces por

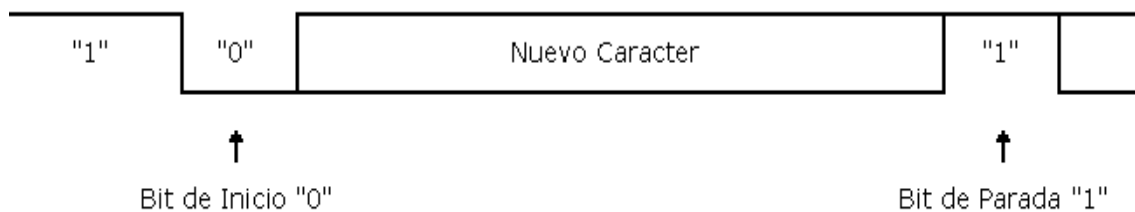


segundo nos permitirá muestrear el principio o el final del bit. En ambos casos detectaremos el bit, sin embargo, no es extraño que la señal cambie ligeramente, y permanezca la línea con una duración un poco más larga o más corta de lo normal. Por todo ello, una frecuencia de muestreo lenta no sería capaz de detectar el cambio de estado de la señal a su debido tiempo, y esto daría lugar a que la estación terminal no recibiera los bits correctamente.

3.10.1 Bit de inicio y bit de parada

En la transmisión asíncrona un carácter a transmitir es encuadrado con un indicador de inicio y fin de carácter, de la misma forma que se separa una palabra con una letra mayúscula y un espacio en una oración. La forma estándar de encuadrar un carácter es a través de un bit de inicio y un bit de parada.

Durante el intervalo de tiempo en que no son transferidos caracteres, el canal debe poseer un "1" lógico. Al bit de parada se le asigna también un "1". Al bit de inicio del carácter a transmitir se le asigna un "0". Por todo lo anterior, un cambio de nivel de "1" a "0" lógico le indicará al receptor que un nuevo carácter será transmitido.



Formato de transmisión asincrónica.

3.10.2 Reglas de transmisión asíncrona

La transmisión asíncrona que vamos a ver es la definida por la norma RS232, en la que profundizaremos más adelante y que se basa en las siguientes reglas:

- Cuando no se envían datos por la línea, ésta se mantiene en estado alto (1).
- Cuando se desea transmitir un carácter, se envía primero un bit de inicio que pone la línea a estado bajo (0) durante el tiempo de un bit.
- Durante la transmisión, si la línea está a nivel bajo, se envía un 0 y si está a nivel alto se envía un 1.
- A continuación se envían todos los bits del mensaje a transmitir con los intervalos que marca el reloj de transmisión. Por convenio se transmiten entre 5 y 8 bits.



- Se envía primero el bit menos significativo, siendo el más significativo el último en enviarse.

A continuación del último bit del mensaje se envía el bit (o los bits) del final que hace que la línea se ponga a 1 por lo menos durante el tiempo mínimo de un bit. Estos bits pueden ser un bit de paridad para detectar errores y el bit o bits de stop, que indican el fin de la transmisión de un carácter.

Los datos codificados por esta regla, pueden ser recibidos siguiendo los pasos siguientes:

Esperar la transición 1 a 0 en la señal recibida.

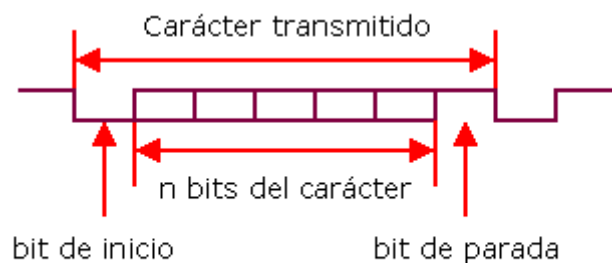
Activar el reloj con una frecuencia igual a la del transmisor.

Muestrear la señal recibida al ritmo de ese reloj para formar el mensaje.

Leer un bit más de la línea y comprobar si es 1 para confirmar que no ha habido error en la sincronización.

3.10.3 Velocidad de transmisión

En la transmisión asíncrona por cada carácter se envía al menos 1 bit de inicio y 1 bit de parada así como opcionalmente 1 bit de paridad. Esta es la razón de que los baudios no se correspondan con el número de bits de datos que son transmitidos.



Formato básico de transmisión asíncrona

Ejemplo:

Determinar cuántos bits de datos y caracteres son transmitidos de manera asíncrona en 1 segundo si se transmite a una velocidad de 2400 baudios con 1 bit de inicio, 2 bits de parada, 1 bit de paridad y 6 bits de datos por carácter:

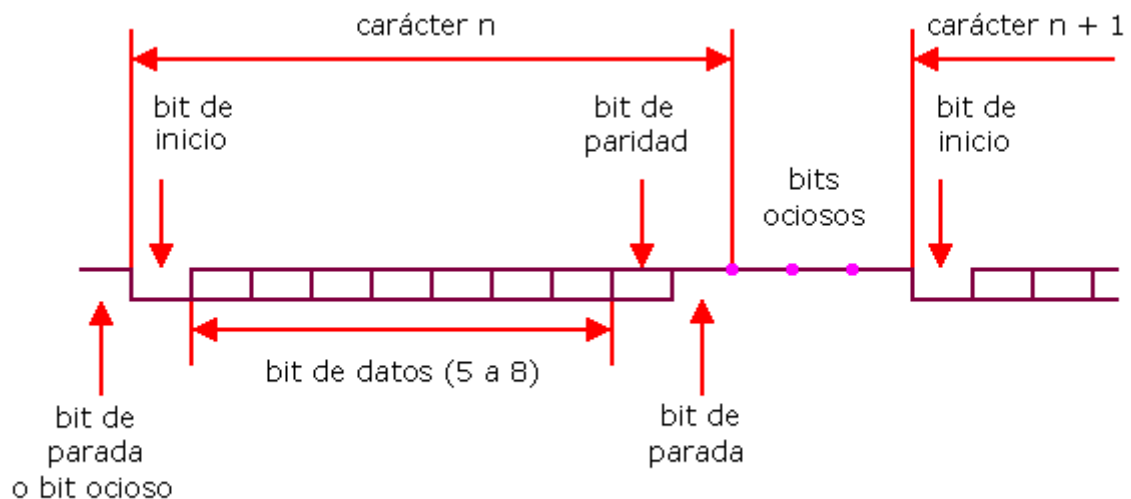
Para transmitir un carácter se necesitará:

1 bit inicio + 6 bits datos + 1 bit paridad + 2 bits parada = 10 bits.

Como la velocidad de transmisión es 2400 baudios y cada carácter consume 10 bits, se transmitirán 240 caracteres por segundo (2400/10). Como cada carácter posee 6 bits de datos serán transmitidos $240 \times 6 = 1440$ bits de datos por segundo.

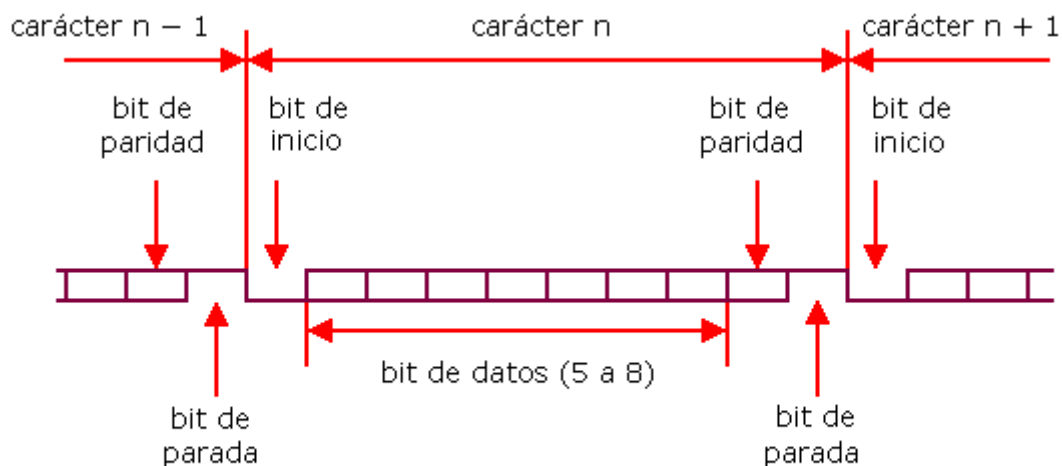


La característica fundamental del formato de transmisión asíncrono es su capacidad de manejar datos en tiempo real, con un intervalo de longitud arbitraria entre caracteres sucesivos. Al final de cada caracter, la línea va a 1 en el bit de parada y permanece en ese estado durante un número arbitrario de bits ociosos. El inicio del nuevo caracter estará definido por la transición a 0 del bit de inicio.



Transmisión asincrónica con velocidad menor que la máxima posible

En la siguiente figura se muestra la mayor velocidad asíncrona posible con el bit de paridad.

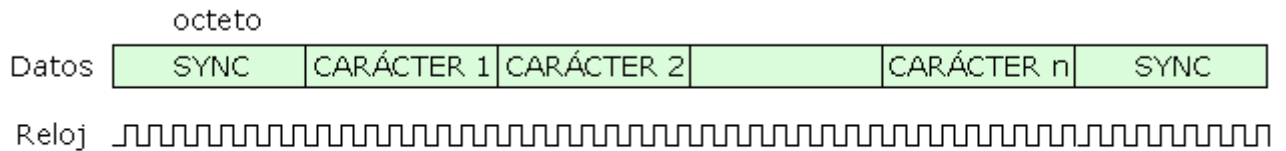


Transmisión asincrónica con la velocidad máxima posible



3.11 La transmisión síncrona

Es un método más eficiente de comunicación en cuanto a velocidad de transmisión. Ello viene dado porque no existe ningún tipo de información adicional entre los caracteres a ser transmitidos.



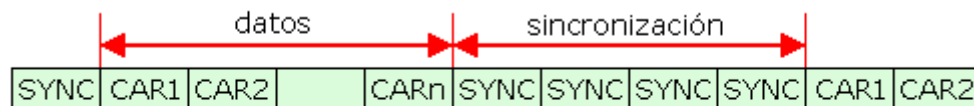
Transmisión síncrona

Cuando se transmite de manera síncrona lo primero que se envía es un octeto de sincronismo ("sync"). El octeto de sincronismo realiza la misma función que el bit de inicio en la transmisión asíncrona, indicando al receptor que va a ser enviado un mensaje. Este carácter, además, utiliza la señal local de reloj para determinar cuándo y con qué frecuencia será muestreada la señal, es decir, permite sincronizar los relojes de los dispositivos transmisor y receptor. La mayoría de los dispositivos de comunicación llevan a cabo una resincronización contra posibles desviaciones del reloj, cada uno o dos segundos, insertando para ello caracteres del tipo "sync" periódicamente dentro del mensaje.

Los caracteres de sincronismo deben diferenciarse de los datos del usuario para permitir al receptor detectar los caracteres "sync". Por ejemplo, el código ASCII utiliza el octeto 10010110.

Existen ocasiones en que son definidos dos caracteres de sincronismo, ello puede ser necesario si, por cualquier motivo el carácter "sync" original se desvirtuara, el siguiente permitirá la reinicialización del receptor. En segundo lugar, puede ocurrir que el equipo receptor necesite un tiempo adicional para adaptarse a la señal entrante.

Cuando se transmite de forma síncrona, es necesario mantener el sincronismo entre el transmisor y el receptor cuando no se envían caracteres, para ello son insertados caracteres de sincronismo de manera automática por el dispositivo que realiza la comunicación.



Insertión automática de caracteres de sincronismo

El receptor/transmisor síncrono debe indicar además cuándo el sincronismo ha sido logrado por parte del receptor.

3.12 Detectar errores en la comunicación

Cuando se escriben o se envían datos, pueden producirse errores, entre otras cosas, por ruidos inducidos en las líneas de transmisión de datos. Es por tanto necesario comprobar la integridad de los datos transmitidos mediante algún método que permita determinar si se ha producido un error.

En un caso típico, si al transmitirse un mensaje se determina que se ha producido un error, el receptor solicita de nuevo el mensaje al emisor.

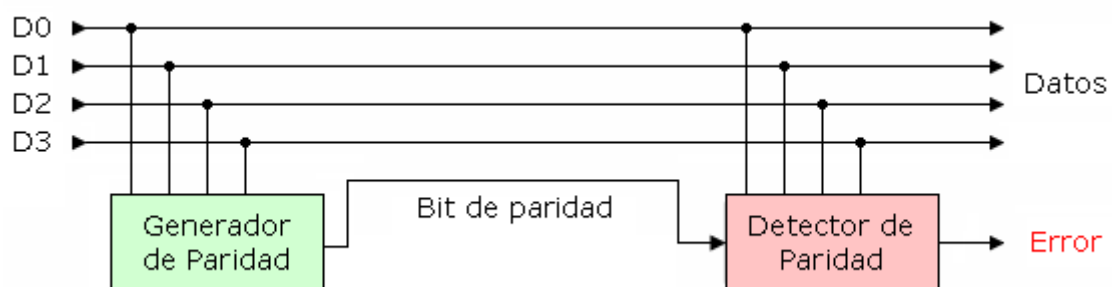
Se pueden detectar errores de acuerdo a la forma de transmisión:

1. Transmisión asíncrona:
 - a. Paridad.
 - b. Sobre escritura.
 - c. Error de encuadre (framing).
2. Transmisión síncrona:
 - a. Paridad.
 - b. Sobre escritura.

3.12.1 Generadores y detectores de paridad

Como un error en una transmisión serie solamente suele afectar a un bit, uno de los métodos más comunes para detectar errores es el control de la paridad.

El control de paridad consiste en añadir un bit, denominado de paridad, a los datos que se envían o escriben.



La paridad puede ser par o impar.



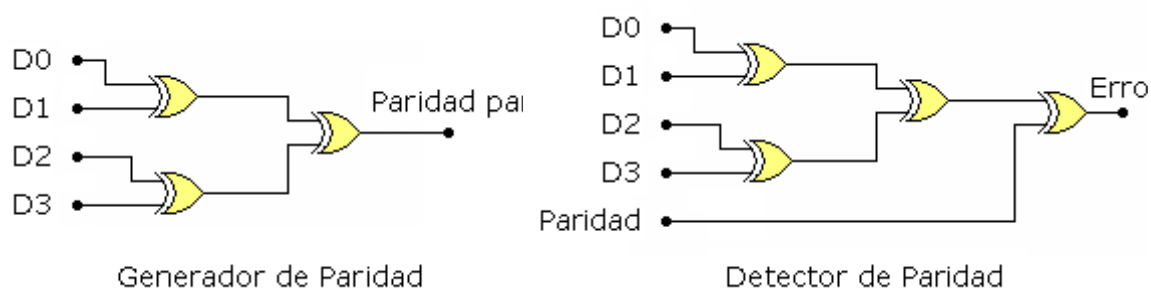
3.12.1.1 Paridad par

El bit de paridad será cero, cuando el número de bit "unos" que contienen los datos a transmitir sea un número par, y el bit de paridad será uno cuando los datos que se mandan contienen un número impar de unos.

Dato	Paridad
0000 0001	1
0101 0001	1
0101 0101	0
0000 0000	0

La suma de los bits que son unos, contando datos y bit de paridad dará siempre como resultado un número par de unos.

En las siguientes figuras se muestra cómo se puede realizar un generador de paridad y un detector de paridad con puertas lógicas or-exclusivas (EXOR).



3.12.1.2 Paridad impar

Dato	Paridad
0000 0001	0
0101 0001	0
0101 0101	1
0000 0000	1

En el sistema de paridad impar, el número de unos (datos + paridad) siempre debe ser impar.



3.12.1.3 Ejemplo:

Se quieren transmitir los datos C3H y 43H con paridad impar.

- C3H = 1100 0011
- 43H = 0100 0011

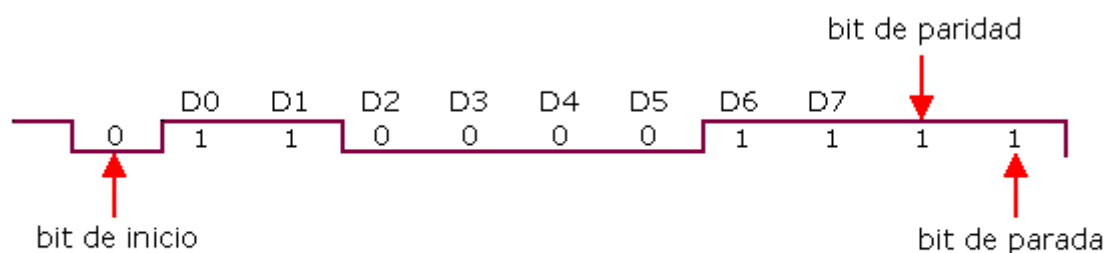
C3H tiene un número par de unos, por lo que el bit de paridad a insertar debe ser 1 para que se cumpla que el número de unos (datos + paridad) siempre debe ser impar:

D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	BIT DE PARIDAD	
1	1	0	0	0	0	1	1	1	5 "unos"

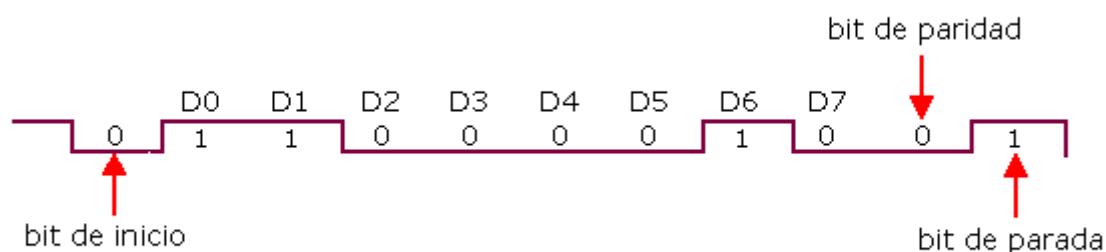
43H tiene un número impar de unos, por lo que el bit de paridad a insertar debe ser 0 para que se cumpla que el número de unos (datos + paridad) siempre debe ser impar:

D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	BIT DE PARIDAD	
1	1	0	0	0	0	1	0	0	3 "unos"

La secuencia de transmisión se muestra en la figura siguiente.



Transmisión del carácter C3H, 1100 0011B.



Transmisión del carácter 43H, 0100 0011B.



Supongamos que se comete un error en la recepción de 43H en la posición más significativa (D7). Esto significa que se ha recibido el carácter C3H (bit MSB complementado), el receptor discrimina este error al recibir un número par de unos (bit D0, D1, D6, D7 y paridad):

D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	BIT DE PARIDAD	
1	1	0	0	0	0	1	"1"	0	4 "unos"

Como fue definida paridad impar, se detecta el error pues debería haber un número impar de unos y hay cuatro. Como respuesta a la detección el sistema podría solicitar la transmisión de este carácter nuevamente.

Por último, y considerando lo anterior, indicar que el método de detección de errores mediante paridad sólo es válido cuando falla un bit, si por ejemplo fallan dos, no se detectará el error.



3.13 La sincronización de la recepción

Para realizar la sincronización del dato recibido se debe comprobar el bit en la mitad del intervalo del tiempo que dura para evitar la lectura de falsas transiciones producto del ruido en la línea. Para la sincronización se utiliza un reloj externo de período T_c que cumple la relación:

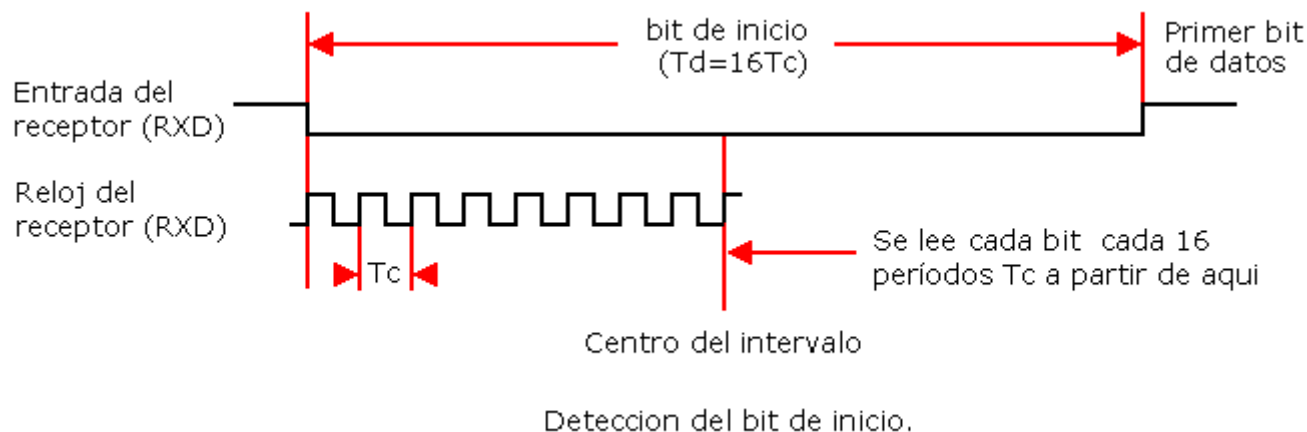
$T_d = K * T_c$, donde K , generalmente, toma el valor 16.

T_d es el tiempo de duración de cualquier bit de datos transmitidos, bit de paridad, bit de parada o bit de inicio.

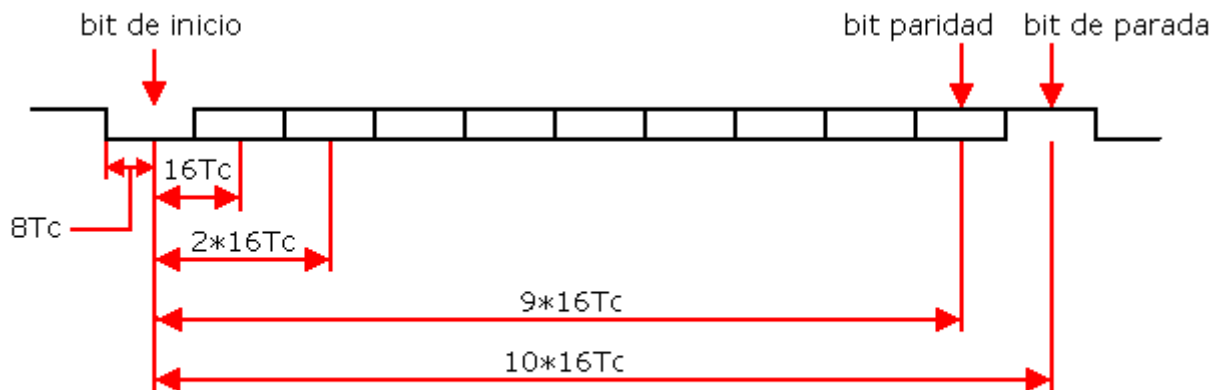
Para lograr la sincronización entre el transmisor y el receptor tanto T_c como K deben ser el mismo para ambos, ello permitirá que el bit de datos se compruebe en el momento preciso sin necesidad de conectar una línea adicional de reloj para lograr el sincronismo.

A continuación vamos a ver como se sincroniza el dato en una transmisión asíncrona.

En la figura siguiente se observa como después de detectado el bit de inicio y transcurridas 8 transiciones de reloj, ha transcurrido un tiempo igual a la mitad del bit de información que establece el inicio de la recepción de un nuevo carácter. A partir de ese tiempo se leerán los datos cada 16 pulsos de reloj.



Esto permite comprobar la información en la mitad del intervalo de cada bit de información.



Comprobación de la información en la mitad del intervalo de cada bit

3.14 La norma RS485

Como antes se adelantó, la norma RS232 es una de las más populares que se utilizan en la comunicación serie, y es la que se utiliza en los PC's, si bien hoy día está ampliamente superada por la transmisión serie a través de USB, de manera que está remitiendo su uso (por ejemplo, ya no se implementa en ordenadores portátiles). Se desarrolló en la década de los 60 para gobernar la interconexión de terminales y MODEM.

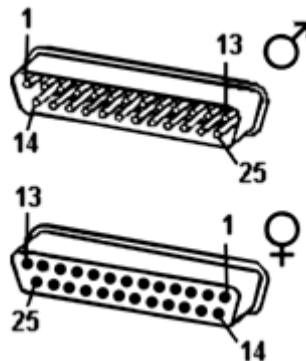
La norma RS232 resuelve tres aspectos en la comunicación que se establece entre el **DTE**, Equipo Terminal de Datos, por ejemplo un PC y el **DCE**, Equipo para la comunicación de datos, por ejemplo un ratón:

- Características eléctricas de la señal: Se desarrolla a continuación.
- Características mecánicas de los conectores: Se utiliza un conector de 25 patillas, DB 25, o de 9 patillas, DB 9, donde el conector macho identifica al DTE y el conector hembra al DCE.
- Descripción funcional de las señales usadas: Las señales están básicamente divididas en dos grupos:
 - a. Señales primarias, que son normalmente utilizadas para la transferencias de datos
 - b. Señales secundarias, utilizadas para el control de la información que será transferida.

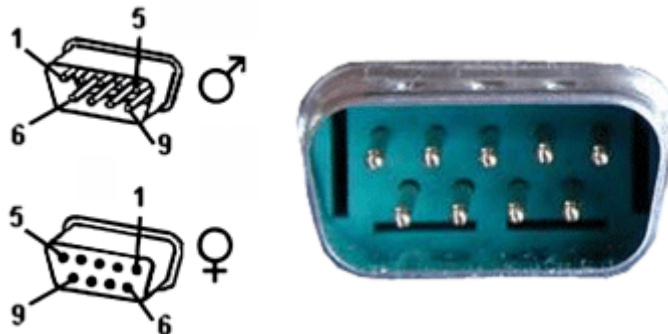
La norma RS232 está definida tanto para la transmisión síncrona como para la asíncrona, pero cuando se utiliza esta última, sólo un conjunto de terminales (de los 25), es utilizado.

3.14.1 Conectores

DB25 patillas macho y hembra



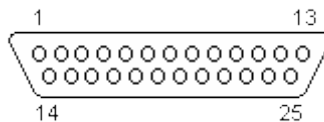
DB9 patillas4 macho y hembra



Ambos conectores son totalmente compatibles entre sí y existen adaptadores para pasar de un conector a otro

3.14.2 Descripción de terminales en RS232

Para ilustrar mejor el significado de cada terminal, consideremos a modo de ejemplo que el DTE podría ser un PC y el DCE un ratón. Se considerará el terminal DB25. Más adelante, en [RS232 en el PC](#) se volverá al tema de los conectores.



- **TXD (Transmit Data, transmisión de datos, salida, pat. 2):** Señales de datos que se transmiten del DTE al DCE. En principio, los datos no se pueden transmitir si alguno de los terminales RTS, CTS, DSR ó DTR está desactivado.
- **RXD (Receive Data, recepción de datos, entrada, pat. 3):** Señales de datos transmitidos desde el DCE al DTE.



- **DTR (Data Terminal Ready, terminal de datos preparado, salida, pat. 20):** Señal del DTE que indica que está conectado, generalmente en "0" indica que el DTE está listo para transmitir o recibir.
- **DSR (Data Set Ready, dispositivo preparado, entrada, pat. 6):** Señal del DCE que indica que el dispositivo está en modo de transmisión de datos.
- **RTS (Request To Send, petición de envío, salida, pat. 4):** Señal del DTE al DCE, notifica al DCE que el DTE dispone de datos para enviar. Se emplea en líneas semiduplex para controlar la dirección de transmisión. Una transición de 1 a 0 avisa al DCE que tome las medidas necesarias para prepararse para la transmisión.
- **CTS (Clear To Send, preparado para transmitir, entrada, pat. 5):** Señal del DCE al DTE indicando que puede transmitirle datos.
- **CD (Carrier Detect, detección de portadora, entrada, pat. 8):** Señal del DCE que ha detectado la señal portadora enviado por un modem remoto o que la línea telefónica está abierta.
- **RI (Ring Indicator, timbre o indicador de llamada entrante, entrada, pat. 22):** Señal del DCE indicando que está recibiendo una llamada por un canal conmutado.
- **SG (GND) (System Ground ó Signal Ground, masa de señal, pat. 7):** Masa común para todas las líneas.
- **FG (GND) (Shield ó Protective Ground, tierra de protección, pat. 1):** El conductor esta eléctricamente conectado al equipo.



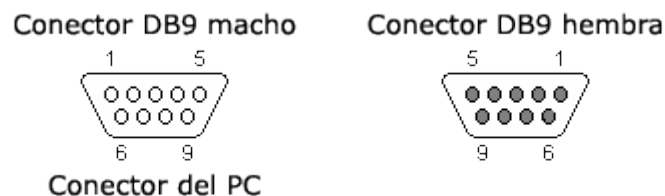
3.15 RS232 en el PC

El puerto serie de un ordenador trabaja en modo asíncronico. En puerto serie recibe y envía información fuera del ordenador mediante un determinado software de comunicación o un driver del puerto serie. La información se envía al puerto carácter a carácter. Cuando se ha recibido un carácter, el puerto serie envía una señal por medio de una interrupción indicando que el carácter está listo. Cuando el ordenador ve la señal, los servicios del puerto serie leen el carácter.

Existen dos tipos de interfaces RS232 puesto que la norma fue diseñada para dos tipos de equipos, el DTE (Equipo Terminal de Datos) y el DCE (Equipo de Comunicación de Datos). Existen entonces dos tipos de interfaz RS232, la DTE (conector macho) y la DCE (conector hembra):

- Interfaz DTE (macho) en el PC.
- Interfaz DCE (hembra) en los modem, ratones y otros dispositivos.

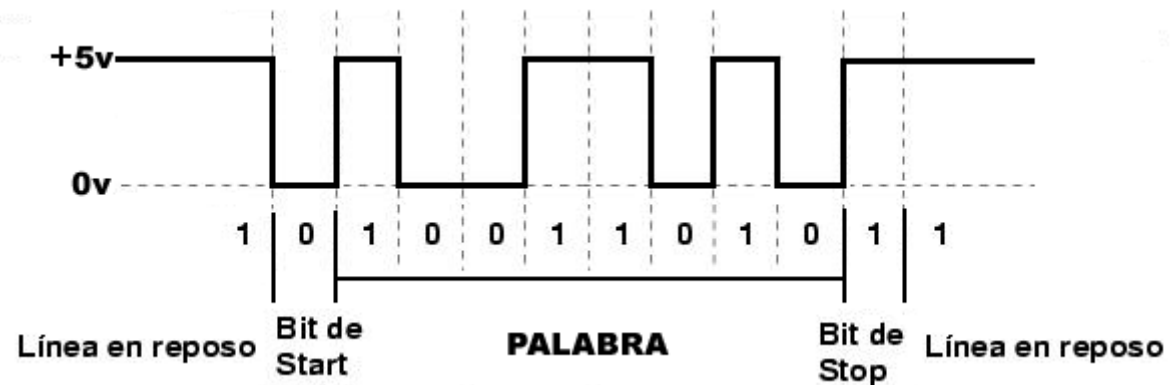
Por tanto en un PC se utilizan conectores DB9 macho, de 9 patillas, por los que se conectan los dispositivos al puerto serie. Los conectores hembra que se enchufan tienen una colocación de patillas diferente, de manera que se conectan la patilla 1 del macho con la patilla 1 del hembra, la patilla 2 con el 2, etc...



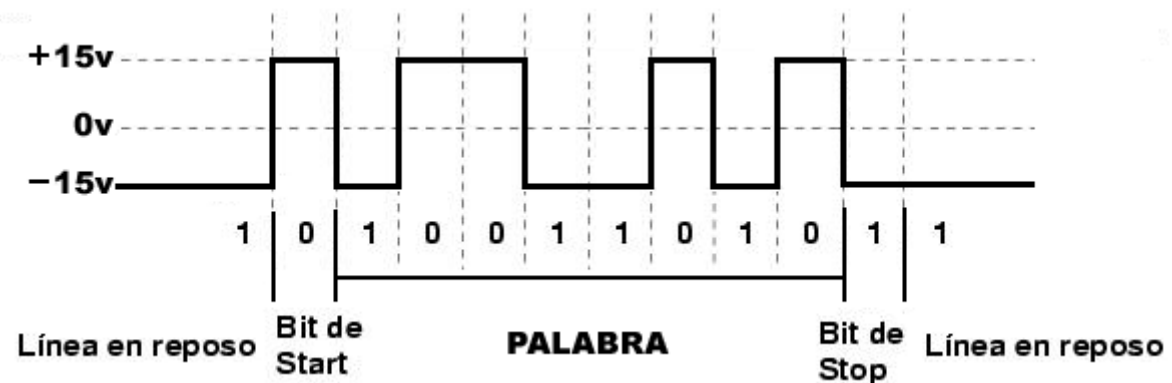
RS232 no admite comunicaciones a más de 15 metros y 20 Kbps (se puede utilizar mayor distancia y velocidad, pero no es el estándar). La comunicación es efectuada con 25 terminales diferentes, cada uno con su función. RS232 está definida tanto para la comunicación síncrona como asíncrona, pero cuando se utiliza esta última sólo se utiliza un conjunto de los 25 terminales. Es por ello que se utiliza el RS 485, que permite conectar hasta 64 dispositivos y a distancias de hasta 1200 metros

Normalmente, las comunicaciones serie en el PC tienen los siguientes parámetros: 9.600 baudios, 1 bit de Start, 8 bits de Datos, 1 bit de Stop y sin paridad.

En la figura siguiente se puede ver un ejemplo de la transmisión en TTL del dato binario **01011001**. La línea en reposo está a nivel lógico alto (+5 voltios).



En la figura siguiente se puede ver un ejemplo de la transmisión en RS232 del dato binario **01011001**. La línea en reposo está a nivel lógico alto (-15 voltios).



3.15.1 Direcciones e IRQ de los puertos serie

El puerto serie utiliza direcciones I/O y una interrupción para llamar la atención del procesador. Además el software de control debe conocer la dirección.

La mayoría de los puertos series utilizan direcciones estándar predefinidas. Éstas están descritas normalmente en base hexadecimal. Las direcciones I/O e IRQ pueden seleccionarse en la BIOS o bajo Windows.

Las señales son:

Puerto	Dir. I/O	IRQ
COM1	3F8-3FF	4
COM2	2F8-2FF	3
COM3	3E8-3EF	4
COM4	2E8-2EF	3

Las direcciones e IRQ usadas por los puertos serie fueron definidas al diseñar el PC, sin embargo, las del COM3 y COM4 no se han definido oficialmente, aunque están aceptadas por convenios.



El IBM-PC utilizaba la UART 8250, siendo la 16550A una de las últimas que se utilizan.

3.15.2 Conector Serie DB25

Pat.	Nombre	Dir	Descripción
1	FG (GND)	-	Shield Ground, tierra de protección
2	TXD	→	Transmit Data, transmisión de datos
3	RXD	←	Receive Data, recepción de datos
4	RTS	→	Request to Send, petición de envío
5	CTS	←	Clear to Send, preparado para transmitir
6	DSR	←	Data Set Ready, dispositivo preparado
7	GND	-	System Ground ó Signal Ground, tierra de señal
8	CD	←	Carrier Detect, detección de portadora
9 al 19	n/c	-	
20	DTR	→	Data Terminal Ready, terminal de datos preparado
21	n/c	-	
22	RI	←	Ring Indicator, indicador de llamada entrante
23 al 25	n/c	-	

Visto del lado PC (DB25 Macho)

La dirección (Dir) es DTE (PC) relativa a DCE (Dispositivo).

- DTE (PC) ← DCE (Dispositivo), entrada en el DTE (PC).
- DTE (PC) → DCE (Dispositivo), salida en el DTE (PC).

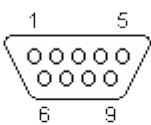
Asignación de pins en conectores DB25



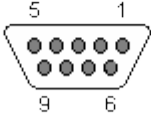
3.15.3 Conector Serie DB9

Pat.	Nombre	RS232	V.24	Dir	Descripción
1	CD	CF	109	←	Carrier Detect, detección de portadora
2	RXD	BB	104	←	Receive Data, recepción de datos
3	TXD	BA	103	→	Transmit Data, transmisión de datos
4	DTR	CD	108.2	→	Data Terminal Ready, terminal de datos preparado
5	GND	AB	102	—	System Ground ó Signal Ground, tierra de señal
6	DSR	CC	107	←	Data Set Ready, dispositivo preparado
7	RTS	CA	105	→	Request to Send, petición de envío
8	CTS	CB	106	←	Clear to Send, preparado para transmitir
9	RI	CE	125	←	Ring Indicator, indicador de llamada entrante

Conector DB9 macho
Conector del PC



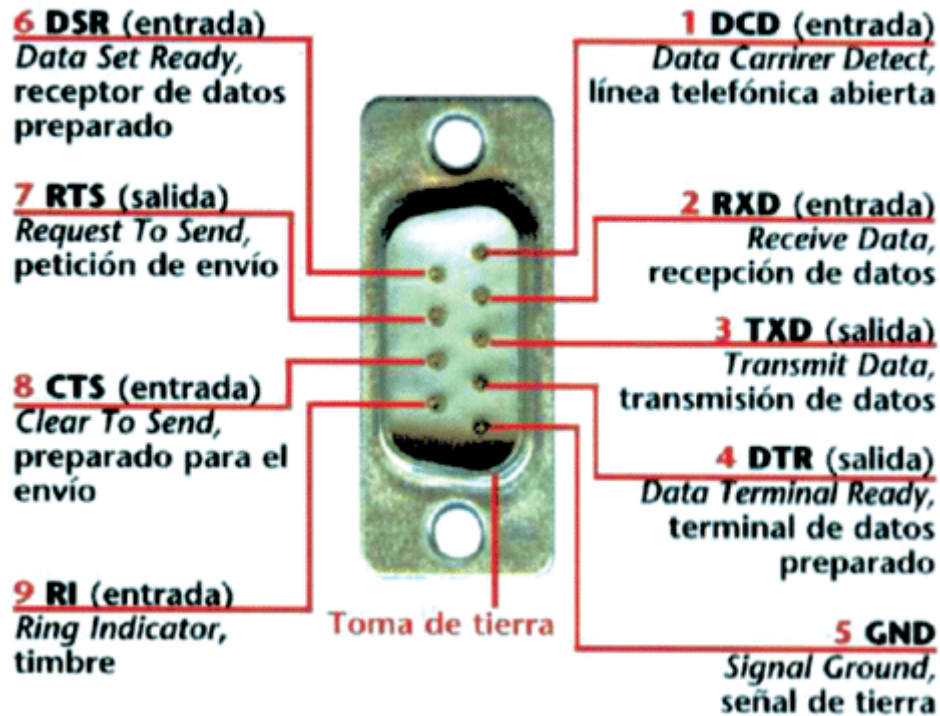
Conector DB9 hembra



La dirección (Dir) es DTE (PC) relativa a DCE (Dispositivo).

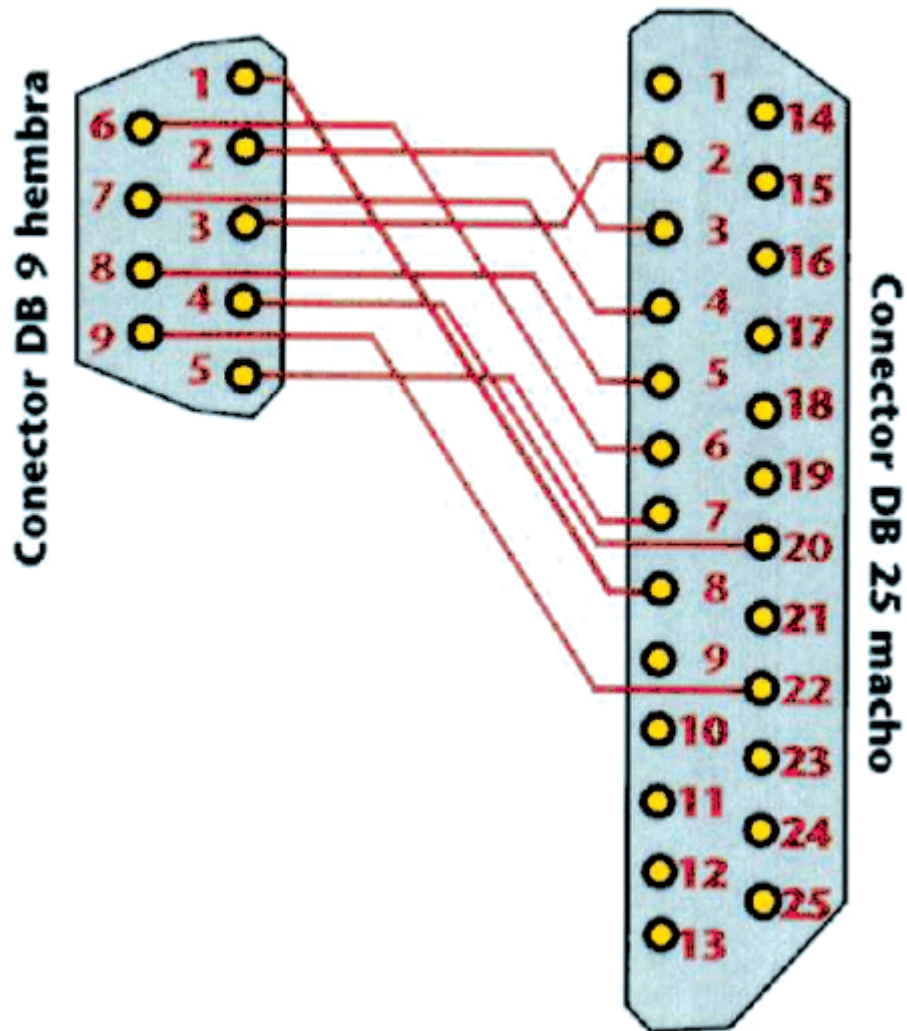
- DTE (PC) ← DCE (Dispositivo), entrada en el DTE (PC).
- DTE (PC) → DCE (Dispositivo), salida en el DTE (PC).

Asignación de pins en conectores DB9



3.15.4 Adaptador de 9 a 25 patillas

Adaptador de 9 a 25 pins



Existen dispositivos compactos capaces de adaptar un conector a otro



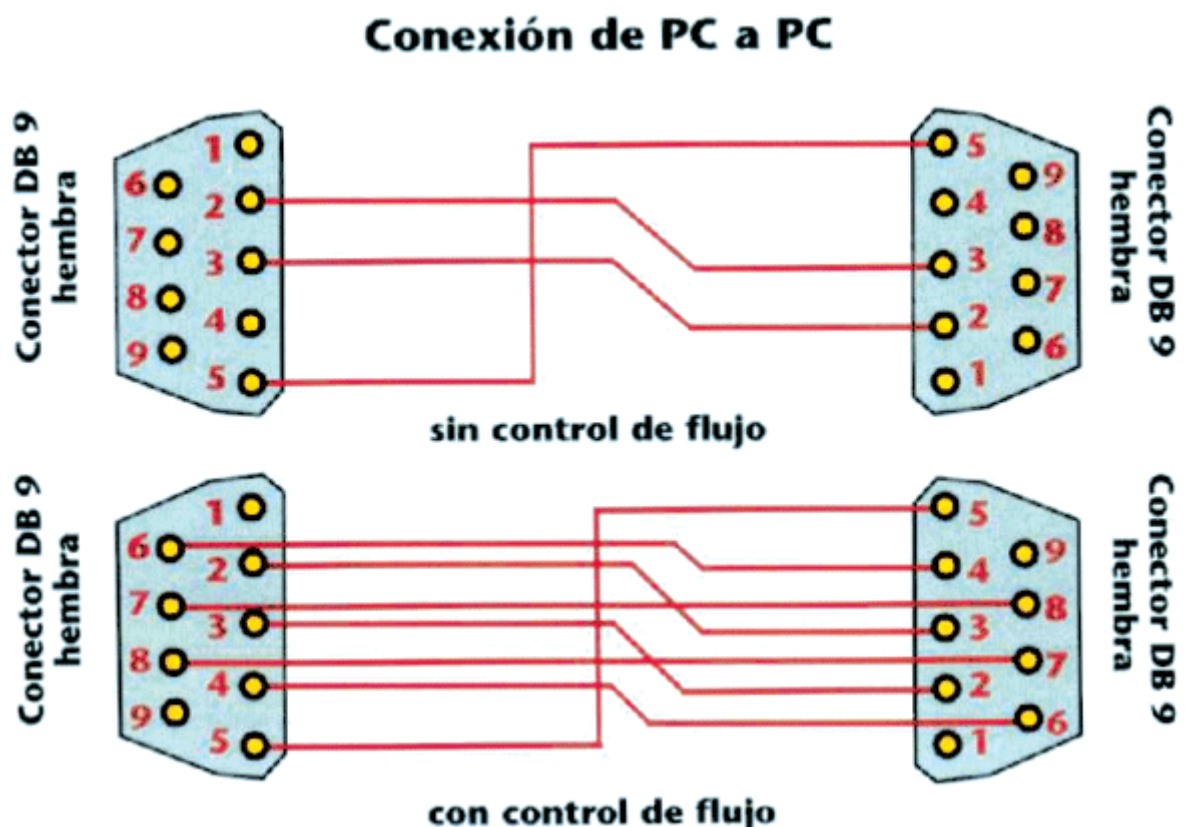
3.15.5 Tipos de conexiones con DB9

Dos PC's no se puede conectar de manera directa entre sí, pues son dos DTE, pero no obstante se puede hacer de acuerdo a la forma de conectar el cable.

Para conectar dos DTE hay que tener en cuenta que ambos transmiten por la línea 2 y reciben por la línea 3, por ello, basta cruzar RXD (2) y TXD (3). También debe conectarse la línea de tierra de señal. Esta conexión es válida cuando el software que controla la comunicación no utiliza los terminales de control.

Si es necesario utilizar los terminales "en línea" (DSR y DTR) se debe considerar que ambos DTE activarán el terminal DTR (4) y esperarán por la activación del terminal DSR (6). Como ninguno activará el terminal DSR, estarán esperando siempre. Este problema se puede solucionar mediante el intercambio de las señales de control, basta cruzar los terminales DSR (6) y DTR (4)

Con respecto a los terminales RTS (7) y CTS (8) sucede algo similar a DSR y RTS, por ello se pueden cruzar los terminales 7 y 8.





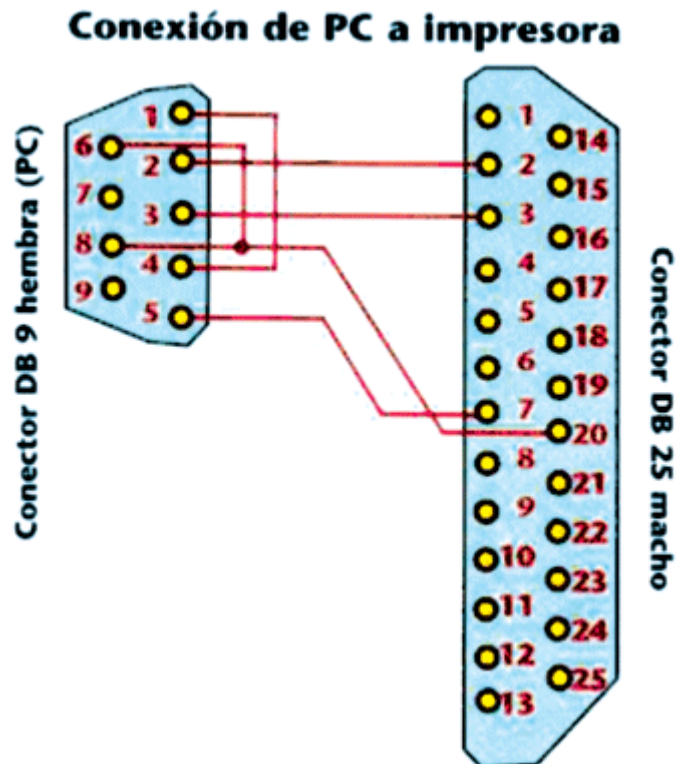
Cable null-modem típico

Otra forma de conexión, en este caso sin control de flujo, se haría considerando que como cada DTE espera la activación del terminal DSR al mismo tiempo que activa el DTR, se unan en cada DTE, para que cada DTE se dé a sí mismo la posibilidad de transmisión. Lo mismo se haría con RTS y CTS. También se conectará el terminal CD a DTR. Algunos programas no trabajan si este terminal no está activo. De manera que como CD es entrada en ambos DTE, se debe mantener activo conectándolo a DTR.

Conexión de PC a PC



3.15.6 Conexión del PC a una impresora serie



3.15.7 Tipos de cables

Sólo presentamos los dos cables más comunes hoy día relacionados con RS232.

3.15.7.1 Cable de extensión serie

Proporciona la posibilidad de extender la longitud de un dispositivo con conector DB9 hasta el PC. Perfecto para dispositivos seriales con cables cortos. Incluye blindaje protector de aluminio que ayuda a cumplir con los requisitos de la FCC sobre interferencias EMI / RFI.



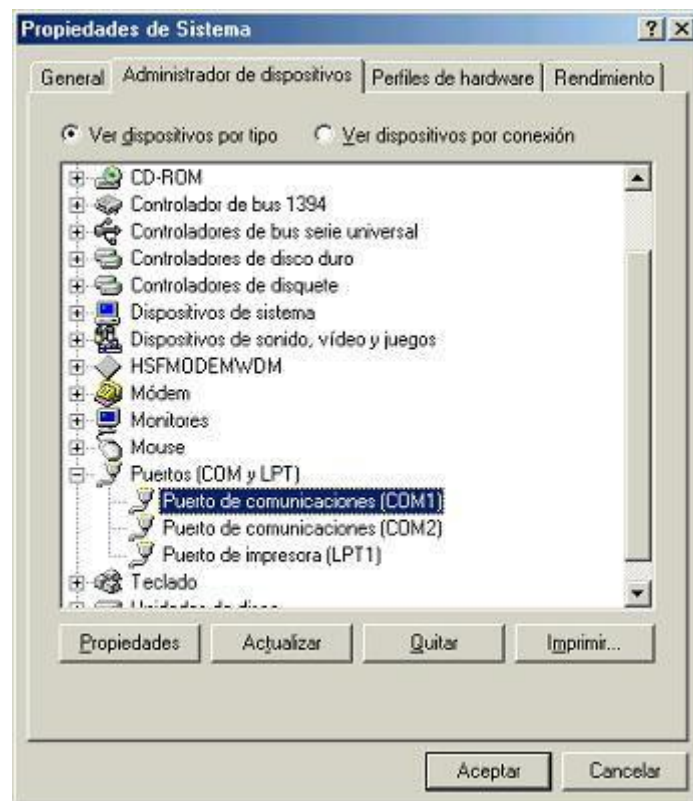
3.15.7.2 Cable de modem nulo (null-modem)

Proporciona la posibilidad de conectar entre si dos DTE, como por ejemplo dos PCs. Incluye blindaje protector de aluminio que ayuda a cumplir con los requisitos de la FCC sobre interferencias EMI / RFI.

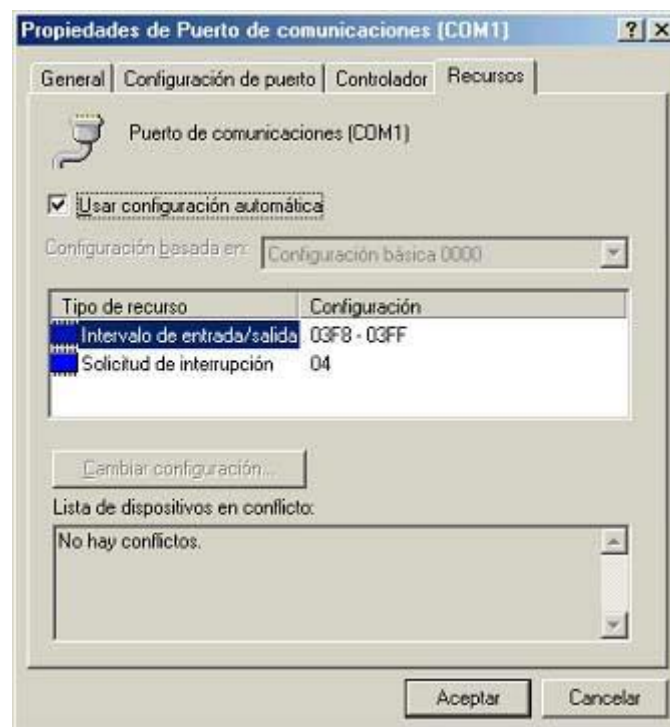


3.15.8 Configuración de los puertos

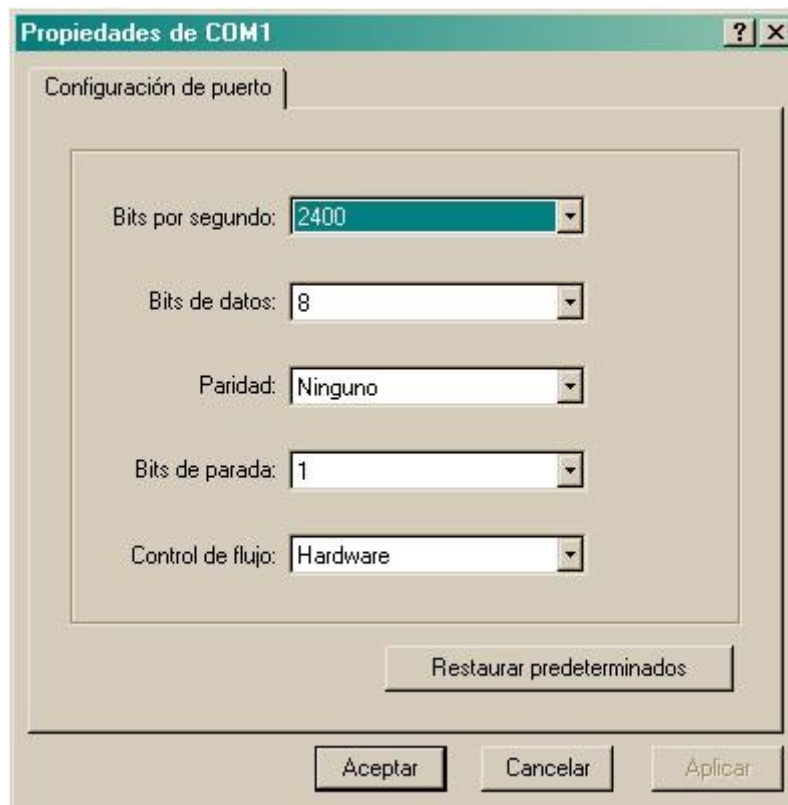
En Windows la configuración de los puertos serie instalados en el PC puede realizarse en el Administrador de Dispositivos. La ruta es la siguiente: MiPc->Panel de control->Sistema->Administrador de Dispositivos. Dentro del administrador, en el apartado Puertos, se muestra una lista con todos los puertos de comunicación del PC. Los que aparecen como COM1, COM2, ... son los puertos serie.



Al hacer doble click sobre alguno de los puertos serie aparece la ventana de propiedades del puerto. Dentro de esta ventana, en la pestaña Recursos, podemos ver la dirección de entrada/salida y la IRQ asignadas al puerto. El sistema operativo se encarga de la gestión de las IRQs y direcciones de entrada/salida de los dispositivos y, por lo tanto, estos valores se obtienen automáticamente. Si existe algún conflicto entre dispositivos, estos valores pueden establecerse manualmente quitando la opción de Usar configuración automática. En este caso, pueden proporcionarse unos valores determinados pulsando el botón Cambiar configuración...o elegir un conjunto de valores en Configuración basada en.



En la pestaña Configuración de puerto, aparecen los parámetros de comunicación del puerto serie: la velocidad de transmisión, el tamaño de palabra, el tipo de paridad utilizada en el control de flujo, el número de bits de parada y, por último, el tipo de control de flujo.



- **Bit por segundo:**

Define la velocidad máxima, en bits por segundo (bps), a la que se transmiten los datos a través del puerto. Normalmente, se establece a la velocidad máxima admitida por el equipo o dispositivo con el que se está comunicando.

- **Bits de datos:**

Cambia el número de bits de datos a utilizar para cada carácter transmitido y recibido. El equipo o dispositivo con el que comunica debe tener la misma configuración que aquí. La mayor parte de los caracteres se transmiten con siete u ocho bits de datos.

- **Paridad:**

Cambia el tipo de comprobación de errores a utilizar para el puerto seleccionado. El equipo o dispositivo con el que se comunica debe tener la misma configuración que aquí. Se debe elegir una de las siguientes:



- **Ninguna:** significa que no se agregará ningún bit de paridad a los bits de datos enviados desde este puerto. Esto deshabilitará la comprobación de errores.
- **Par:** significa que el bit de paridad se establece a 1 si se necesita para que el número de unos (1) de los bits de datos sea par. Esto habilitará la comprobación de errores.
- **Impar:** significa que se agrega un bit de paridad si se necesita para que el número de unos (1) de los bits de datos sea impar. Esto habilitará la comprobación de errores.
- **Marca:** significa que se agrega un bit de paridad, pero siempre está establecido a 0.
- **Espacio:** significa que se agrega un bit de paridad, pero siempre está establecido a 1.

- **Bit de parada:**

Cambia el tiempo entre cada carácter que se transmite (cuando el tiempo se mide en bits por segundo).

- **Control de flujo:**

Cambia la forma en que se controla el flujo de datos.

- **Ninguno**
- **Xon/Xoff**, llamado en ocasiones protocolo de enlace software, es el método de software estándar para controlar el flujo de datos entre dos módems.
- **Control de flujo Hardware**, llamado en ocasiones protocolo de enlace hardware, es el método estándar de controlar el flujo de datos entre un equipo y un dispositivo serie.

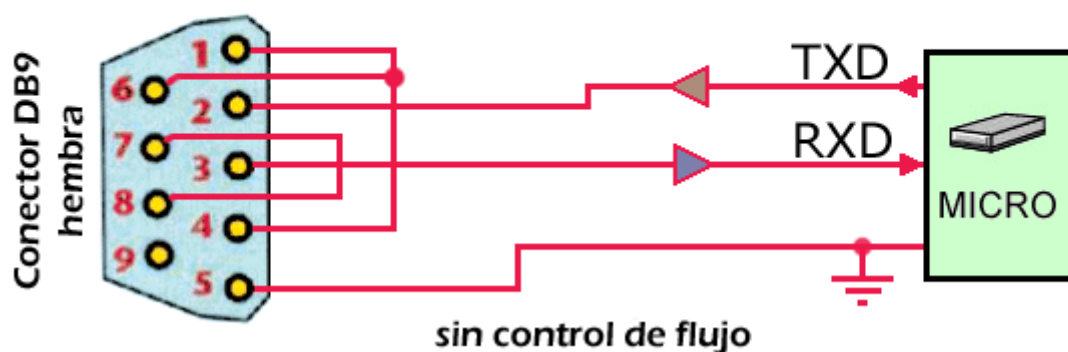
4.1.1 Cable de conexión

Para realizar la conexión entre el PC y un microcontrolador circuito podemos usar diferentes alternativas. Una manera es utilizar un cable serie macho-hembra no cruzado, y en el circuito un conector hembra DB9 para circuito impreso.



En la placa de circuito impreso donde se encuentra el PIC y donde se colocará el conector DB9 hembra sería conveniente realizar la interconexión entre patillas que se describe en la siguiente figura.

Conexion en la placa del PIC



Las conexiones que presenta la figura garantizan que cualquier programa de comunicación acepte la transmisión del PIC, si bien se realizará sin control de flujo. La salida DTR (patilla 4, Terminal de Datos Preparado) entrega señal a la entrada DCD (patilla 1, Detección de Portadora) y a la entrada DSR (patilla 6, Dispositivo Preparado). Por otro lado la salida RTS (patilla 7, Petición de Envío), entrega señal a la entrada CTS (patilla 8, Preparado para el Envío).



4.2 Diseño del circuito impreso (PCB)

El diseño de este circuito tomará como base el de un adaptador USB-RS 485 comercial cualquiera. El diagrama básico del diseño es el siguiente:

Sobre este diseño, habrá que diseñar el aislamiento galvánico oportuno para cumplir con la normativa. Este aislamiento estará cimentado por dos dispositivos principales, ya que habrá que aislar tanto los conductores de la señal eléctrica propiamente dicha, así como las alimentaciones del chip USB UART FT232R y el chip transceptor RS485.

Para aislar galvánicamente las señales, se ha utilizado un componente llamado optoacoplador, cuya función es transformar las señales eléctricas que recibe en pulsos ópticos, en luz, que se transmiten hasta su receptor, que los vuelve a convertir en señales eléctricas. Por tanto el tramo en el que la señal se transmite como luz sirve de separación física entre ambas partes del circuito, aislando galvánicamente ambas partes.

Para alimentar eléctricamente ambas partes del circuito, se ha construido un transformador, cuyos devanados independientes sirven como aislamiento galvánico entre el lado del primario y el del secundario. Este transformador sirve, además, para asegurar la salida de 5 V necesaria para alimentar el transceptor RS485, compensando mediante la relación de transformación las caídas de tensión del lado primario.

A continuación repasaremos los factores a tener en cuenta a la hora de fabricar un circuito impreso.



4.2.1 Consideraciones Generales

4.2.1.1 - Funciones básicas de un circuito impreso:

- a) Soportar sus propios componentes.
- b) Soportar sus interconexiones eléctricas.

Todo ello siguiendo unas reglas establecidas a la vista de unas tolerancias impuestas por la naturaleza de los equipos o sistemas electrónicos. En el diseño de los circuitos impresos, encontraremos una serie de factores variables que habrán de ser seleccionados y combinados de una forma óptima en cada caso.

La colocación de los componentes en la propia placa base del circuito, el material dieléctrico de la base, el tipo de los conductores, el número de capas de conductores, la rigidez, la densidad o compactado del equipo en la placa, etc. , combinados de manera adecuada influirán en el rendimiento, calidad y coste del producto .

En el diseño habrá que pensar también en las condiciones de Fabricación, creando una información adecuada para Fabricar, conociendo los medios y los costos que van a intervenir en las distintas operaciones a seguir, para encontrar procedimientos viables y rentables.

4.2.1.2 Ventajas de los circuitos impresos con respecto a los circuitos convencionales.

- a) Ahorro de espacio: Empleando conexiones impresas se ocupa menor espacio en el equipo que con el uso de conexionado convencional.
- b) Los conductores están permanentemente unidos al dieléctrico base del circuito, lo cual proporciona también una mayor facilidad para el montaje de los componentes.
- c) Es normalmente imposible la rotura de hilos y la producción del cortocircuito entre hilos.
- d) Dada la alta repetitividad en los circuitos, se produce una uniformidad de las características eléctricas en montaje, aumentando la fiabilidad.



e) Se reduce notablemente el volumen y el peso de las interconexiones. Se producen unas nítidas rutas (pistas) de los conductores que permiten un fácil seguimiento visual en los mismos y una mayor organización y control del espacio. Todo ello es debido a la forma plana de la impresión conductora.

f) La identificación de las partes del circuito es simple y el colorido de los hilos ha sido eliminado.

g) Pueden ser utilizados procesos de producción en grandes series y técnicas muy automatizadas.

h) Pueden emplearse operarios con un mínimo de entrenamiento y habilidad.

i) La nitidez de los circuitos permite, con la ayuda visual, simplificar los procesos de comprobación en cuanto se refiere a exactitud en los montajes de los componentes minimizando, de esta manera, los errores.

j) El mantenimiento de los Equipos Electrónicos es más simplificado, es más económico.

k) En las placas flexibles, su forma plana y delgada produce un máximo de ahorro en peso, espacio y coste. Se puede llegar a un ahorro del 75% en volumen y peso, dependiendo de su aplicación específica.

4.2.1.3 Limitaciones de los circuitos impresos

a) La forma plana del circuito requiere una especial habilidad en el diseño para situar los componentes y las interconexiones.

b) El largo tiempo empleado en la etapa del diseño influye apreciablemente desde la iniciación del diseño hasta la entrega del producto final.

c) Cuesta demasiado trabajo y dinero introducir cambios en el diseño cuando ya se dispone de los útiles y medios de fabricación, establecidos.

d) Dificultades encontradas en la reparación de los circuitos impresos.



4.2.1.4 Elementos básicos de un circuito impreso

- a) Soporte aislante.
- b) Agujeros para montaje de componentes y/ o interconexión.
- c) Conectores de interconexión.
- d) Terminales de entrada y de salida.



4.2.2 Clasificación de las placas impresas

4.2.2.1 Categorías de las placas impresas según su densidad en componentes y en interconexiones.

Se consideran tres categorías básicas según sus densidades en orden de menor a mayor:

- a) De Simple Cara, con conductores en una sola superficie plana de la base aislante.
- b) De Doble Cara, con conductores en ambas caras de la base aislante, con agujeros metalizados para la interconexión entre caras, u otros medios.
- c) Multicapa con tres o más capas de conductores separados por material aislante y usualmente interconectados a través de agujeros metalizados.

4.2.2.2 Densidades de las placas impresas.

En toda placa impresa, es necesario conjugar la limitación de su superficie con los elementos (componentes e interconexiones) que es necesario equipar según indica el circuito. Existen o pueden existir una serie de incompatibilidades, dada la diversidad de tamaños y formas de sus componentes, el número de éstos, la complejidad de sus interconexiones, etc.

Es deseable, según esto, conocer una medida que de idea del orden de la densidad de una placa impresa y que permita tipificarlas.

Se toma como unidad de densidad el número de agujeros, para montar componentes, por decímetro cuadrado de superficie útil. Esta unidad no es perfecta, pero puede servir como referencia para conocer, en una primera aproximación la porción de circuito que puede montarse eficazmente en cada caso.

Usualmente, los valores indicados en la tabla se corresponden con las distintas clases de placas impresas.

CIRCUITOS IMPRESOS	NÚM. DE AGUJEROS PARA MONTAJE POR DECÍMETRO CUADRADO DE SUPERFICIE ÚTIL
SIMPLE CARA	Entre 50 y 150
DOBLE CARA	Entre 150 y 300
MULTICAPA	Más de 300

Tabla 3.5: Capas del circuito



4.2.2.3 Sistema de clasificación.

Existe un sistema de clasificación de placas impresas por sus densidades, que proporciona el grado de concentración de conductores, nudos y agujeros. Este dato, junto con otros factores tales como el tamaño de la placa, determinan las tolerancias permitidas en las distintas fases del diseño y de los procesos de fabricación.

El sistema de clasificación consiste en dos dígitos. El primer dígito representa el tipo de placa (número de capas y tipo de conexiones a través de ellas), y el segundo dígito está relacionado con el máximo de concentración local de conductores.

Para el primer dígito, podemos formar el cuadro de clasificación siguiente:

1er Dígito	Tipo de Placa
1	Simple o doble cara, sin agujeros metalizados
2	Doble cara, con agujeros metalizados
3	Multicapa, con agujeros metalizados

Tabla 3.6: Primer dígito

El segundo dígito de la clasificación indica la máxima concentración de conductores, de tal manera que cuanto mayor sea la densidad en la placa impresa, más elevado será el valor de este dígito.

Para considerar la cuantía de la densidad de las placas impresas se introducen las tres variables siguientes:

- anchura nominal de los conductores.
- separación nominal entre los conductores.
- diferencia entre el diámetro nominal de los nudos y el diámetro nominal de los agujeros correspondientes.

Según esto, el segundo dígito de la clasificación de una placa impresa en diseño, será el menor número para el cual los valores mínimos correspondientes a las variables arriba indicadas, están satisfechos sobre toda la placa.



4.2.2.3.1 Límites mínimos dimensionales para cada clase de placa impresa

A continuación, en cuadros por separado, se establecen los límites mínimos que definen a cada clase de placa impresa, en cuanto a densidad se refiere, por el sistema de dos dígitos.

a) Placas sin agujeros metalizados.

El primer dígito de la clasificación de este tipo de placas será 1, y el segundo tomará los valores 1, 2 ó 3 según los tres parámetros a), b) y c) indicados.

Dimensiones (mm)	Clasificación densidad		
	11	12	13
Anchura nominal mínima del conductor	0.8	0.6	0.4
Separación nominal mínima entre conductores	0.7	0.5	0.35
Diferencia mínima entre diámetro nominal del nudo y del agujero	1.6	1.2	0.8

Tabla 3.7: Clasificación por densidad (placas sin agujeros)



b) Placa con agujeros metalizados.

El primer dígito será 2 y el segundo tomará los valores parámetros 1, 2, 3 ó 4 según los tres parámetros a), b) y c) indicados.

Dimensiones (mm)	Clasificación densidad			
	21	22	23	24
Anchura nominal mínima del conductor	0.8	0.5	0.4	0.3
Separación nominal mínima entre conductores	0.7	0.5	0.35	0.335
Diferencia mínima entre diámetro nominal del nudo y del agujero	1.3	0.8	0.64	0.60

Tabla 3.8: Clasificación por densidad (placas con agujeros metalizados)

c) Placas Multicapa.

El primer dígito será 3 para el caso de tres capas y el segundo dígito será 3 también.

Dimensiones (mm)	Clasificación Densidad
	33
Anchura nominal mínima conductor	0.4
Separación nominal mínima entre conductores	0.35
Diferencia mínima entre diámetro nominal del nudo y nominal del agujero	0.64

Tabla 3.9: Clasificación por densidad (placas multicapa)



4.2.2.4 MATERIALES USADOS EN LA PLACA BASE O SOPORTE AISLANTE

Pueden ser elegidos entre los siguientes materiales: de acuerdo con la aplicación de la placa impresa.

- a) Resinas fenólicas rígidas, con papel impregnado en ellas. (Material Rígido).
- b) Poliéster rígido, con fibra de vidrio impregnado en él. (Material Rígido).
- c) Resina epoxi, con papel impregnado en ella. (Material Rígido).
- d) Resina epoxi con fibra de vidrio impregnado en ella. (Material Rígido).
- e) Lámina Film de "mylar", "teflón" o poliamidas. (Material Flexible).

La elección, en cada caso, del tipo de material base a emplear se hará de acuerdo con la aplicación y funciones del circuito que ha de soportar.

Los materiales más usados son los a) y d). El denominado e) se usará en el caso en que la rigidez mecánica no sea un factor importante, en sustitución del tipo marcado d).

Los materiales deberán ser siempre resistentes a la llama.

Los costes de estos materiales varían desde los más económicos (resinas fenólicas con papel) a los más caros (Resina epoxi con fibra de vidrio).

Las diferencias de coste de los materiales son debidas a las características físicas, térmicas y a las propiedades eléctricas de cada tipo de materiales.

Materiales tipo (a), (b) y (c).

Los tipos (a), (b) y (c) son susceptibles de punzonar. La operación de punzonar resulta económica cuando las series de fabricación son elevadas. La utilización de estos materiales está limitada a circuitos impresos cuyos agujeros no vayan a ser metalizados.

Estos materiales no son recomendados para circuitos impresos multicapa, debido a su poca estabilidad dimensional; en placas de altas densidades de conductores se pueden producir roturas en el interior de los agujeros, a causa del choque térmico se sueldan los terminales de los componentes.

Materiales tipo (d)

Estos materiales son los más empleados en circuitos que llevan agujeros metalizados. Su estabilidad dimensional es aceptable para placas de altas densidades de



conductores, siendo mínimas las roturas, en el interior de los agujeros metalizados, debidas al choque térmico. Los agujeros en este tipo de materiales deben ser siempre taladrados. Existen dificultades en el taladrado, si se hacen con matriz, con los espesores normalmente empleados para circuitos impresos. El corte, a tamaño, de las placas debe hacerse con sierra, cizalla o fresa ya que por medio de matriz no es recomendado.

Materiales tipo (c).

Actualmente se están realizando una gran cantidad de trabajos para desarrollar nuevos tipos de materiales de base para circuitos flexibles. Estos materiales en forma de "film" dieléctrico tienen buenas propiedades tanto eléctricas como mecánicas. Normalmente estos "film" dieléctricos llevan una capa de cobre laminado y su empleo está generalizado para circuitos multicapa y circuitos impresos híbridos, tengan o no los agujeros metalizados.

4.2.2.5 EL TAMAÑO y LA FORMA DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS

Normalmente, estas dos características físicas de las placas impresas, vienen limitadas por las dimensiones del equipo a que están destinadas y también por el utillaje y facilidades de fabricación existentes (maquinaria, instalaciones, etc.)

Con objeto de reducir costes de fabricación hay que procurar que la elección de las placas se haga sobre tamaños normalizados para los cuales ya existe el correspondiente utillaje (elementos de corte, plantillas, complementos, etc.).



4.2.2.6 ESPESOR DEL MATERIAL BASE

El espesor es variable, varía entre 0.8 mm y 3.2 mm. Para placas rígidas (vidrio epoxi), el espesor de 1.6 mm. es el más empleado, la tolerancia admitida este caso es de ± 0.2 mm.

Cuando el material básico sea fenol o epoxi con papel la tolerancia admisible será de ± 0.14 mm.

Las medidas están normalizadas en los siguientes espesores 0.8 mm., 1.0 mm. , 1.6 mm. , 2.4 mm. , 3.2 mm. Estos valores se refieren a espesores nominales de las placas impresas acabadas.

4.2.2.7 DEFORMACIONES O ALABEOS

La placa base, con su material plástico, está sometida a temperaturas a que alabeen su forma plana primitiva. El grado de deformación es más alto para los materiales fenólicos con papel y más bajo para las resinas epoxi con fibra de vidrio.

El grado de alabeo también depende de la clase (una cara o dos caras) y tamaño de la placa impresa, así como del predominio de estructura metálica (conductores) y del equilibrio de ésta en ambas caras (p.e. pueden existir planos de tierra y una cara y un número pequeño de interconexiones en la otra cara, como situación favorable para la deformación). Resulta necesario incorporar contrafuertes o nervios para minimizar el alabeo. Estos se colocan de manera conveniente en el centro o en los lados de la placa, antes de la operación de soldadura simultánea. Los conectores de circuito impreso sirven también de refuerzo, si se estudia su colocación.

4.2.2.8 AGUJEROS

Debidamente metalizados sirven para montar componentes y establecer interconexiones. Se pueden practicar por punzonado y por taladrado.

4.2.2.8.1 Punzonado

Es el método más económico cuando se repite 50.000 o más veces la misma configuración de agujeros. Se usa en los casos en que el material básico es papel o fibra de vidrio.



Las limitaciones para el diámetro del agujero punzonado y separación entre centros de agujeros, dependen del tipo y espesor del material base utilizado.

4.2.2.8.2 Taladrado.

Se usa casi exclusivamente para placas con material base de fibra de vidrio epoxi. Es un proceso más caro que el punzonado pero existe economía si se dispone de máquinas de taladrar múltiples con control numérico. No hay limitación en el diámetro de los agujeros, pero se considera en la práctica, como tope mínimo 0.6 mm.

El utillaje para taladrar, contando con las cintas perforadas para control de las máquinas, requiere menor tiempo de fabricación que el utillaje para punzonar.

Para agujeros metalizados se recomienda que el diámetro no sea inferior a un tercio del espesor de la placa base del circuito. En condiciones especiales puede reducirse el diámetro a un quinto del espesor del material.

4.2.2.9 IMPRESIÓN CONDUCTORA.

El proceso más simple para obtener los conductores de un circuito es el grabado de ellos sobre la hoja del laminado base. Esto requiere un mínimo de etapas del proceso y ha sido usado ampliamente en grandes producciones. El ataque para obtener el circuito debe estar aplicado en una o en ambas caras del laminado.

Para conseguir la interconexión entre los conductores de ambas caras se pueden usar procedimientos electroquímicos para la metalización de los agujeros.

Para aumentar la densidad y complejidad del alambrado se recurre a circuitos impresos con los conductores de ambas caras interconectados por agujeros metalizados. Estos procesos se emplean en la industria para circuitos doble cara y multicapa.

Esto requiere de un equipo especial para taladrado y metalización. A fin de que el producto final tenga los conductores del circuito protegido por metales resistentes a la corrosión, como estaño, plomo, oro, etc., que favorecen la soldabilidad durante largo tiempo de almacenaje.

La fabricación de circuitos multicapa origina una combinación de varios procesos. Primero, las capas conductoras se imprimen individualmente y se graban, excepto las exteriores y entonces ellas se juntan para formar un panel integral. Este panel es procesado después como si fuese un circuito impreso doble cara con agujeros metalizados.



La impresión o la operación de depositar el dibujo modelo sobre el cobre del soporte aislante se puede hacer de dos maneras fundamentalmente por serigrafía y por fotograbado. Cualquiera de los dos procedimientos tiene sus propias limitaciones aunque. En principio, estas limitaciones están definidas por el tamaño del lote de fabricación y por la densidad de impresión conductora.

Existen por tanto dos límites para determinar cuál de los dos procesos debe seguirse. Para placas de alta densidad, con tolerancias muy estrechas, caso de placa de clase 23 y 33, el proceso está limitado al fotograbado. En placas cuyos lotes de fabricación sean pequeños, por debajo de 10 paneles, es asimismo recomendada la foto grabado, independientemente de las clases de las placas.

4.2.2.10 TERMINACIONES DE ENTRADA y SALIDA.

Hay básicamente dos métodos de terminación entre las impresiones conductoras de circuitos impresos y la interconexión de ellos con el sistema. El otro método consiste en soldar terminales para un alambrado firme del circuito impreso con el resto del sistema. El otro método consiste en un conexionado rápido mediante conectores.

El conexionado rápido de los circuitos impresos con conectores se puede hacer de dos formas, uno por medio de conectores discretos en forma de enchufe y otro por contactos impresos en el borde de la placa.

Los contactos con enchufe directo pueden ser montados individualmente o montados en múltiple, mediante grapas rebordeadas y con un dieléctrico intercalado entre el conector y la placa.

Los contactos impresos de borde de la impresión conductora generalmente están cubiertos con un metalizado suplementario que mejora el desgaste y alarga su vida de servicio. Estos conectores son más baratos que los anteriores, pero limitan la estructura del circuito por la anchura del conductor y por tanto el acoplamiento para lo que los conectores son útiles.



5 Fabricación del PCB

A continuación mostraremos los pasos realizados a la hora de fabricar la placa del proyecto, para su posterior prueba.

5.1 Diseño del circuito electrónico

El primer paso es diseñar el circuito que se va a imprimir. Para ello en esta ocasión se ha utilizado el software CADSTAR 14.

Como se vio anteriormente, el diseño se basaría en el de un adaptador USB-RS485 normal. Así que partiendo de las dos unidades básicas que forman dicho dispositivo, se diseñó un primer borrador del circuito. Para ello era necesario representar el chip USB UART:

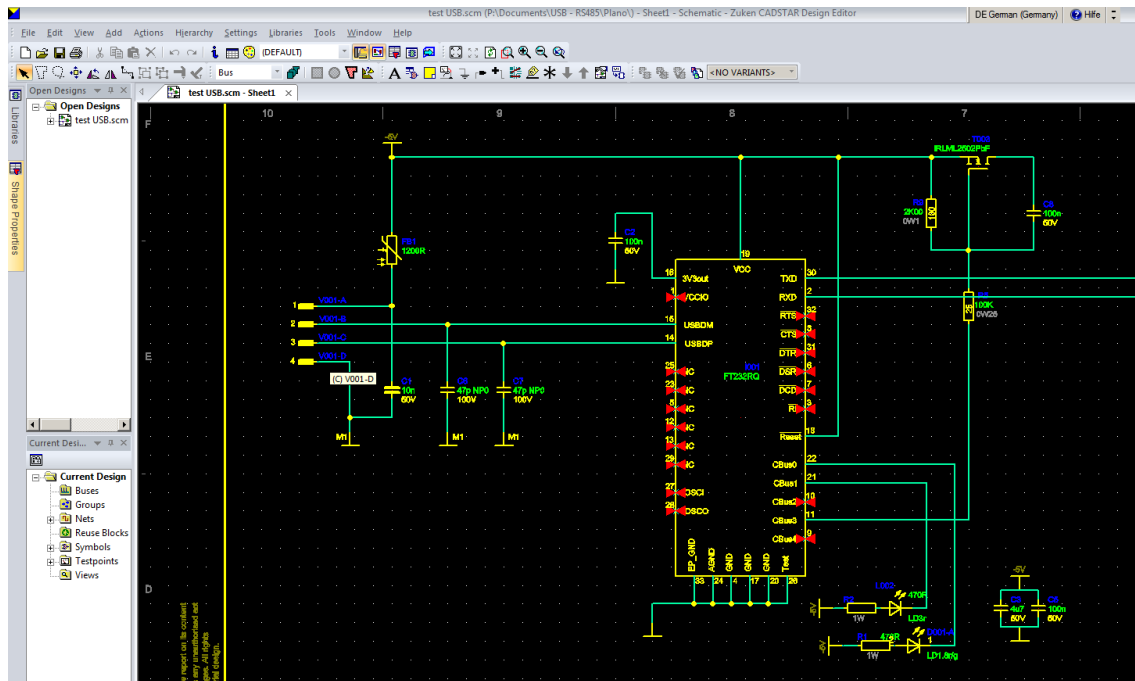


Figura: Chip USB UART

En la parte izquierda se pueden ver representados los conectores de un típico puerto USB. Los de los extremos serán los encargados de alimentar con 5V de cc al chip, mientras que los dos centrales son los encargados de transmitir las señales entre el ordenador y el circuito.

En la parte inferior derecha se pueden apreciar dos diodos LED, que se han añadido a la configuración básica, con la única función de comprobar la circulación de corriente por los canales de las señales.

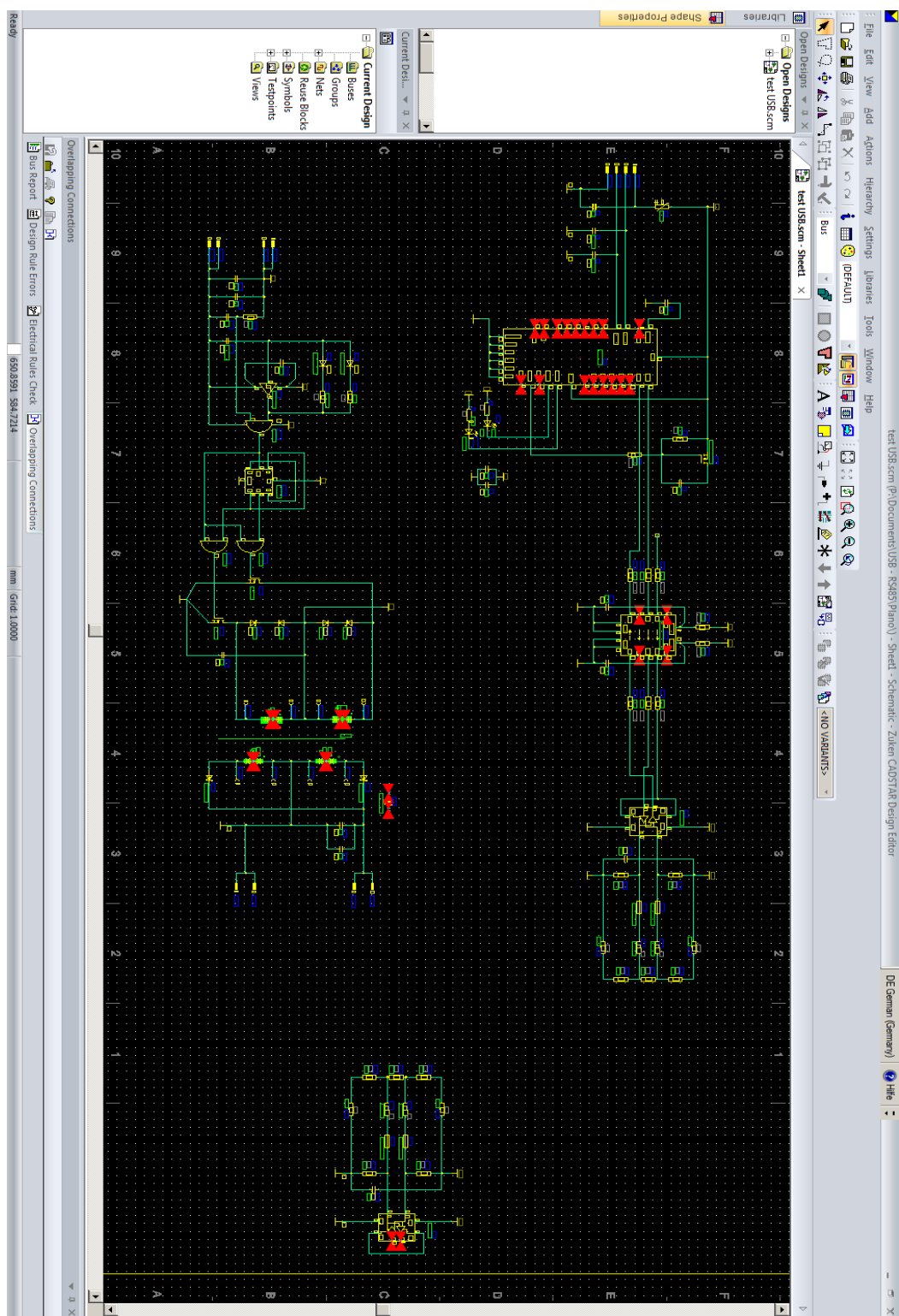


Figura: Vista general del circuito con CADSTAR 14



A continuación, como el objetivo del proyecto es aislar galvánicamente el lado USB del lado RS485 del adaptador, se ha instalado entre ambos un optoacoplador. Un optoacoplador es un circuito integrado muy básico compuesto por un diodo LED y un fototransistor unidos de tal forma que cuando una señal eléctrica circula a través del LED haciendo que brille, la luz que este emite es recibida por la base del fototransistor, que empieza a actuar en modo saturación.

Esta sería su configuración en el programa:

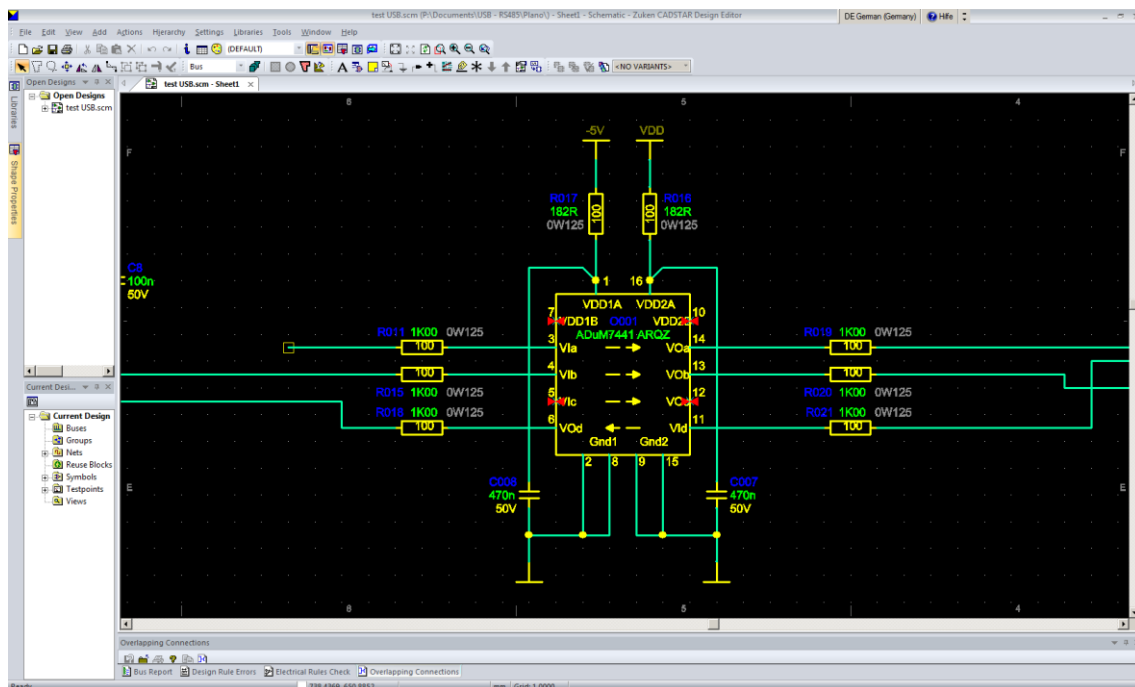


Figura: Optoacoplador en Cadstar 2014

Como se puede apreciar en la imagen, el dispositivo tiene dos alimentaciones independientes, una proveniente del USB y la otra del RS485. Es por tanto demostrado, que en ningún momento se van a conectar eléctricamente ambas partes, pudiendo asegurarse así el aislamiento galvánico.

Se pueden apreciar, además, las dos señales de entrada que vienen del chip USB UART, y las que salen hacia el transceptor RS 485.



El último paso para completar el circuito es diseñar en el software el transceptor RS485.

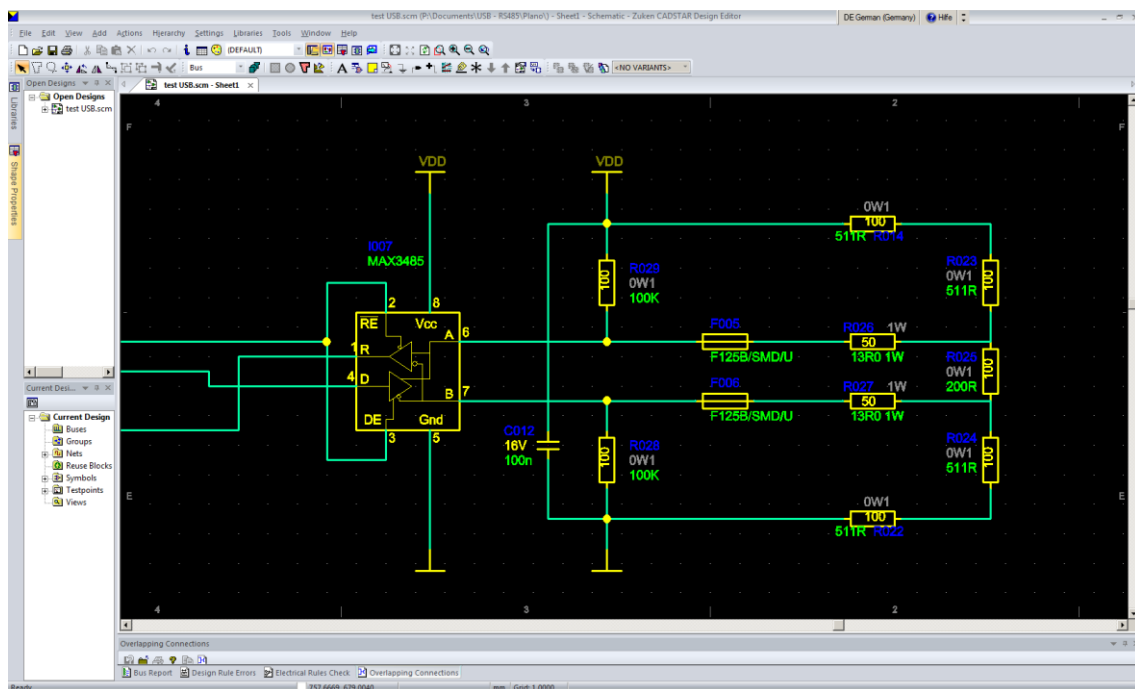


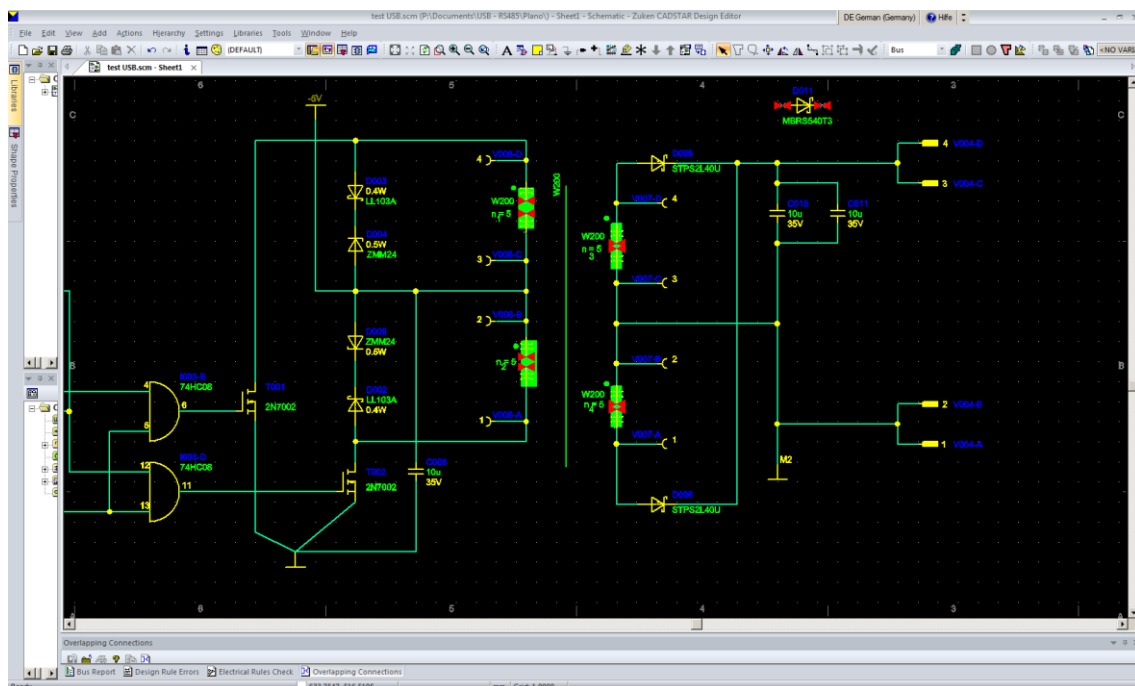
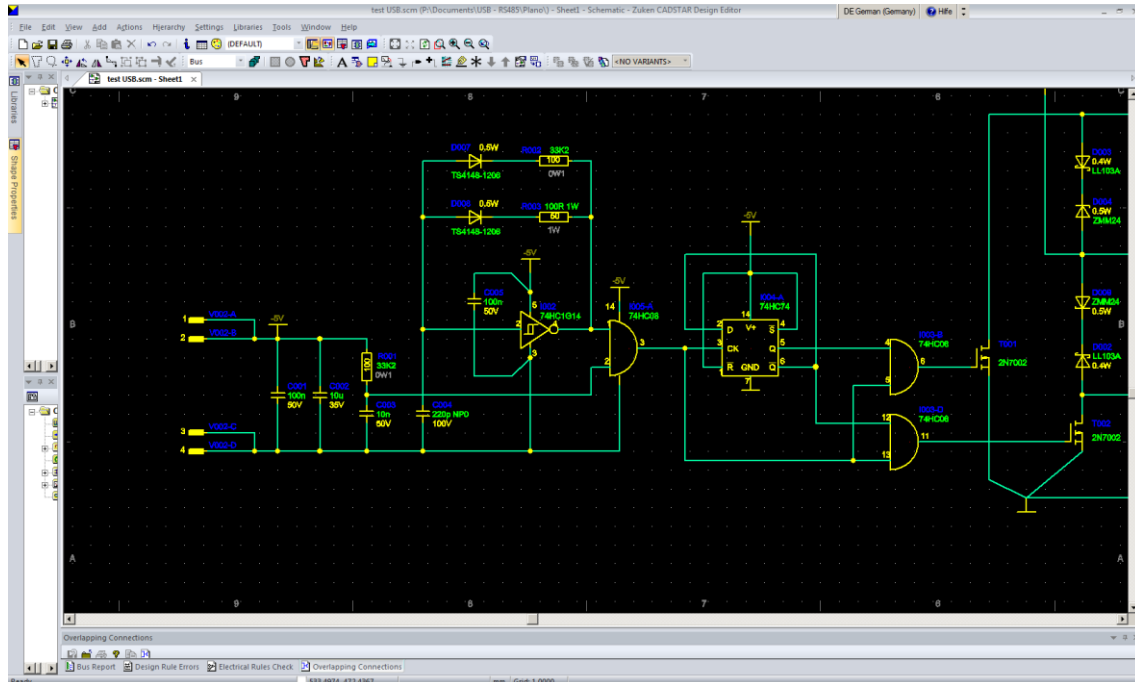
Figura: Transceptor RS485 y conexión con puerto DB9.

En la parte izquierda se pueden apreciar las entradas R y D, que son las señales UART que vienen del optoacoplador.

El transceptor deberá ser alimentado también a 5V, pero no puede alimentarse directamente desde el puerto USB, pues perdería el aislamiento. Para ello se ha elaborado una fuente de alimentación, que mediante un transformador 5V / 5V, alimenta el transceptor desde el USB, pero sin una conexión directa que pueda poner en peligro el equipo.



Esta fuente primero adecúa la señal de alimentación continua del USB, que mediante unas puertas AND y unos biestables, consigue alternar la señal para que funcione el transformador.





5.2 Diseño físico de la placa

Una vez con el diseño del circuito eléctrico terminado, hay que diseñar como se dispondrán físicamente sus elementos en una placa.

En un primer diseño, se optó por colocar los elementos de la placa de manera lineal, de tal manera que fuera más intuitivo entender cómo funcionaba, como se muestra en las siguientes imágenes. En la primera se podrá observar los componentes del circuito principal, y en la segunda la disposición de los elementos que forman la fuente de alimentación.

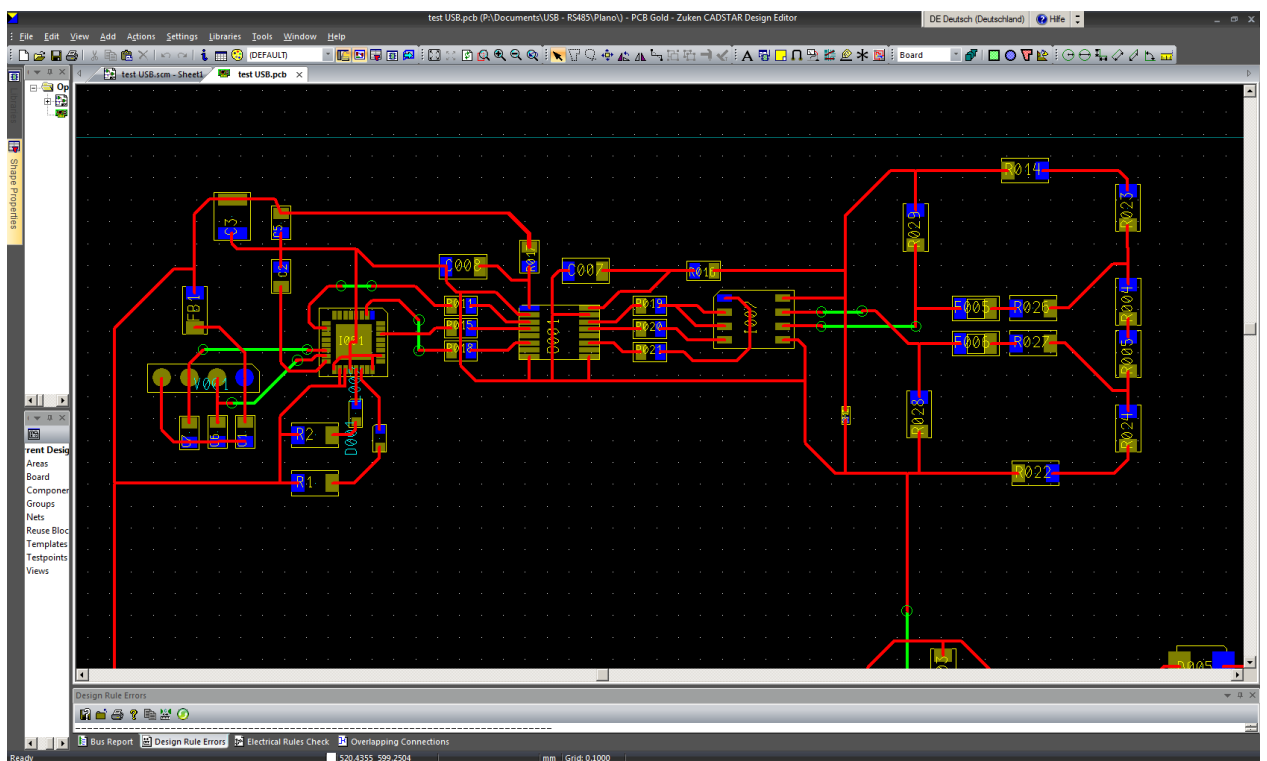


Figura: Vista en Cadstar 14 del circuito UBS-RS485

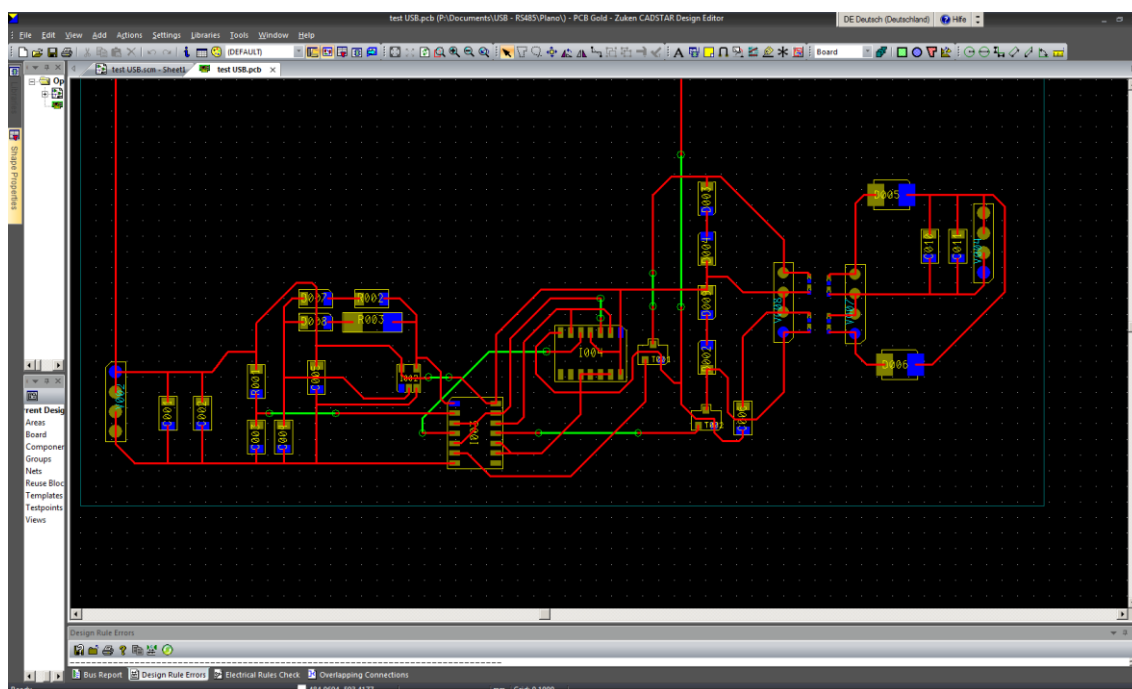


Figura: Fuente de alimentación en Cadstar 14.

Una vez dispuestos todos los elementos debidamente conectados, se intentó optimizar el diseño, disminuyendo el número de puentes (cambios entre caras de la placa), y juntando los elementos lo máximo posible. El resultado final será el que se utilizará para fabricar la primera revisión de la placa:

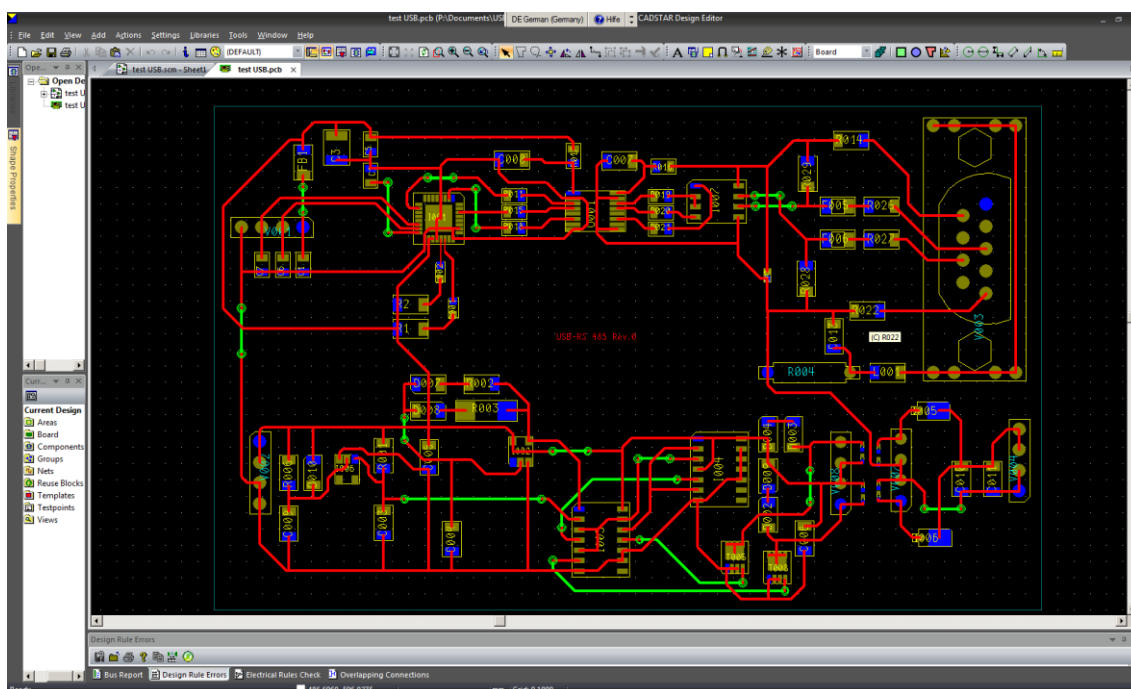


Figura: Vista general de la primera placa.



5.3 Fabricación

Una vez que el diseño teórico en el software está terminado, hay que proceder a fabricar una placa con dicho diseño. Para ello, en primer lugar se imprimirá lo que se conoce como fotolito. El fotolito no es más que una transparencia con el esquema eléctrico impreso que nos permite imprimir las zonas que necesitemos y dejar el resto en blanco, o en este caso transparente.

5.3.1 Proceso de insolación

El proceso consistirá colocar los fotolitos sobre una placa de fibra de vidrio, que tiene en ambas caras una lámina de cobre, y sobre ellas una capa de barniz. Una vez colocados los fotolitos, se someterá a la placa a un baño de luz Ultravioleta durante unos minutos. El fotolito tiene el dibujo del circuito en negro, con lo que protegerá la zona de placa que se encuentra debajo de las zonas dibujadas, mientras los espacios en blanco se verán afectados por la luz UV.

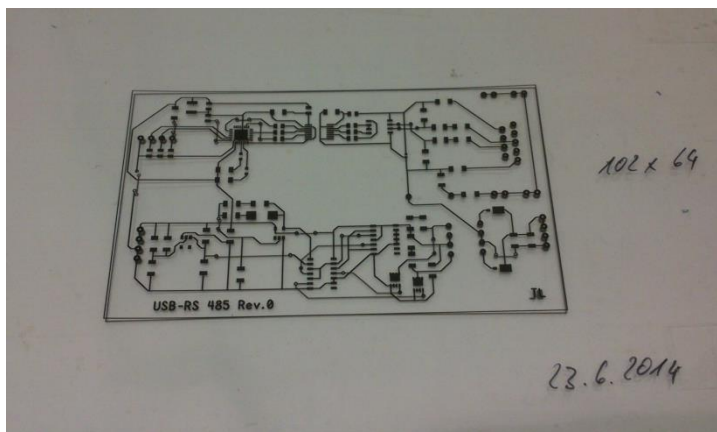


Figura: Fotolitos superpuestos

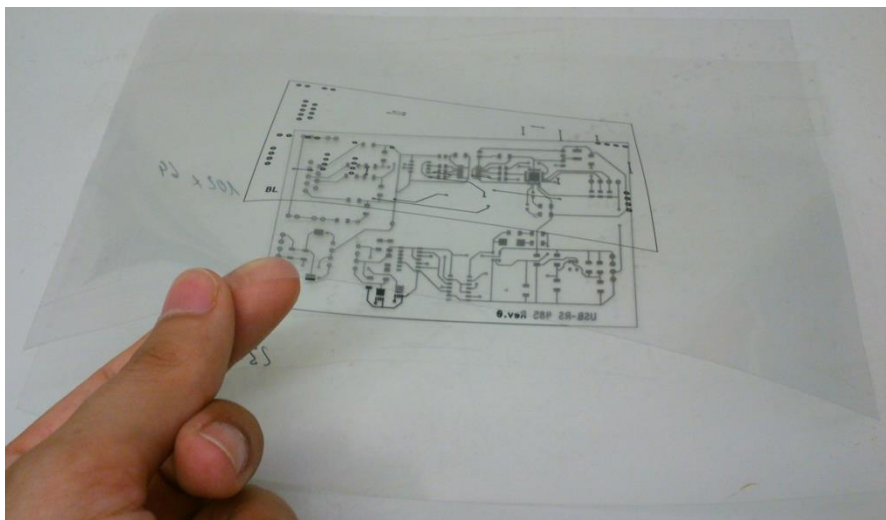


Figura: Fotolitos separados

A continuación se puede ver cómo se prepara la placa para aplicar la luz UV.



Figura: Lámpara UV

5.3.2 Proceso de revelado

El revelado se compone de 1L de agua templada 18~35° (no sirve fría o la sosa no actúa) y 12 gramos de sosa caustica, esta mezcla se degrada a las pocas horas así que no se puede guardar hecha. Cuando esté preparada la mezcla se sumerge la placa.



Figura: sosa cáustica

El tiempo de revelado se comprende entre 30 y 60 segundos, se puede apreciar que el barniz expuesto a la luz UV comienza a oscurecerse y poco después a desprenderse. Hay que tener cuidado de no exponer la placa en exceso a esta solución o el resto de barniz podría comenzar a desprenderse, si esto ocurriese quedaría una placa inservible y habría que repetir el proceso de insolación con una placa nueva.

Al terminar el revelado se lava la placa con abundante agua y ya está lista para el atacado.



Figura: Baño de la placa



5.3.3 Proceso del atacado

El atacado se encarga de corroer el cobre que está desprotegido, el cobre que fue sometido a la luz UV. Para ello se sumerge en una solución de percloruro de hierro. El tiempo de inmersión variará en función de varios factores, pero al final habrá que ir mirando cuando esté terminado.



Figura: Baño en ácido de la placa



5.3.4 Aclarado y secado

Una vez terminado el atacado y se vea perfectamente perfilados todos los conductores del circuito, la placa se aclara en agua con bicarbonato sódico y posteriormente en agua. Es importante tomarse su tiempo y asegurarse que se aclara totalmente el ácido, pues es altamente corrosivo.



Figura: placa colgada enjuagando en agua

Posteriormente es conveniente secar apropiadamente la placa, por lo que se introducirá la misma en un horno a 80° durante 5 minutos, después de secarla primeramente con un paño seco.



Figura: horno de secado

5.3.5 Perfilado y cortado

Una vez terminado el secado, hay que repasar el cobre con un cúter por si hay zonas que no se hayan desprendido correctamente. Tras ello, hay que cortar la placa con el tamaño apropiado. Para ello se utiliza una sierra de cinta con polvo de diamante.



Figura: Cortado de placas

5.3.6 Perforado

Uno de los parámetros que se tuvieron en cuenta en la fase de diseño es el diámetro de los agujeros donde se cambiarán los conductores entre capas.

```

-----
Post Process Report - Windows Printer

CADSTAR Design Editor Version 14.0.0.3

Design:      C:\Nies\NiesLayout\Casas Portela\encapsulado2.pcb

Design Title:
Feldbus Trenübertrager
91 859 01 61 0
160613

Units:      Millimetres
Decimal Places:  4

Date:      Mittwoch, 6. August 2014
Time:      12:02

-----

Drill Report
-----

```

Size	Length	Plate Through	Letter	Count	Comments
0.6000	0.0000	Yes	F	50	
0.8000	0.0000	Yes	H	14	
1.0000	0.0000	Yes	J	19	
2.5000	0.0000	Yes	Y	2	
3.0000	0.0000	Yes	d	2	

101 x 95 x 1,5

```

-----
End of report
-----

```

Figura: resumen de agujeros de la placa

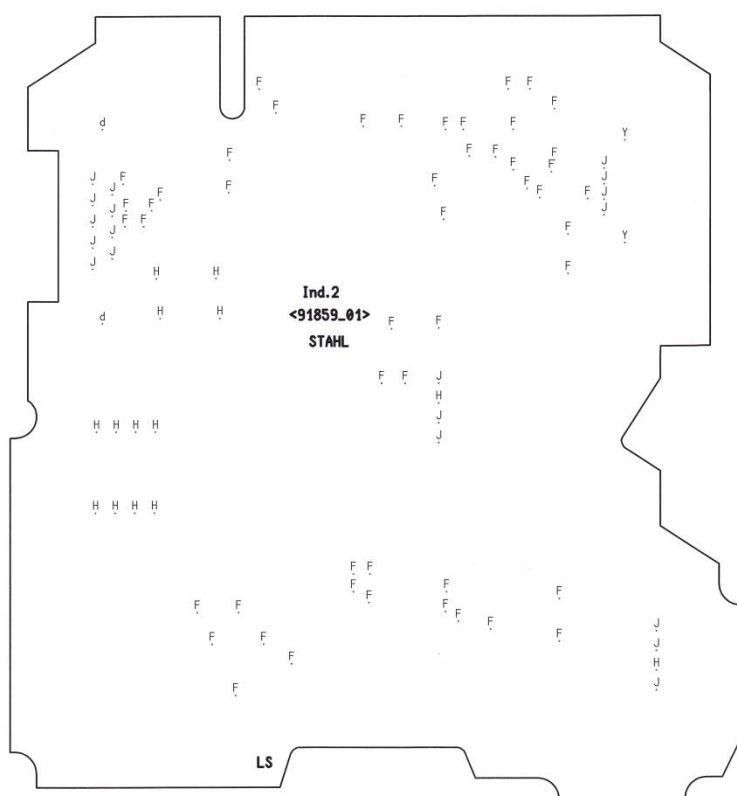


Figura: Disposición de los agujeros



Para realizarlos, se utilizó un taladro, al cual se le cambian las brocas en función del diámetro deseado en cada caso:

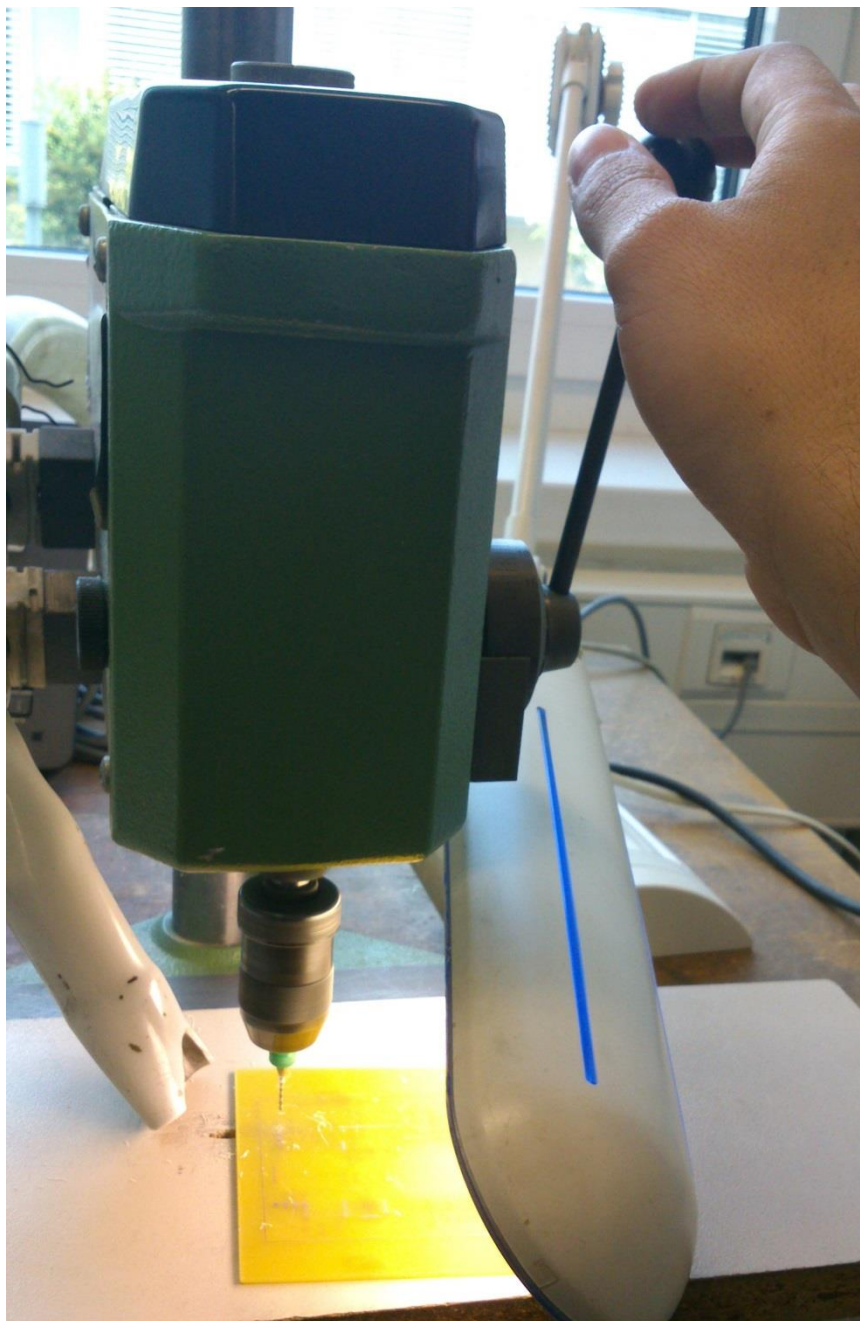


Figura: taladro perforando la placa.



5.4 Montaje de la placa

Una vez que ya están todos los agujeros realizados, se procede a soldar los distintos componentes en la placa. Por norma general se empezará con los elementos más pequeños, ya que si están los grandes instalados primeramente, quizá sea más complicado acceder a las zonas más pequeñas con el soldador de estaño.

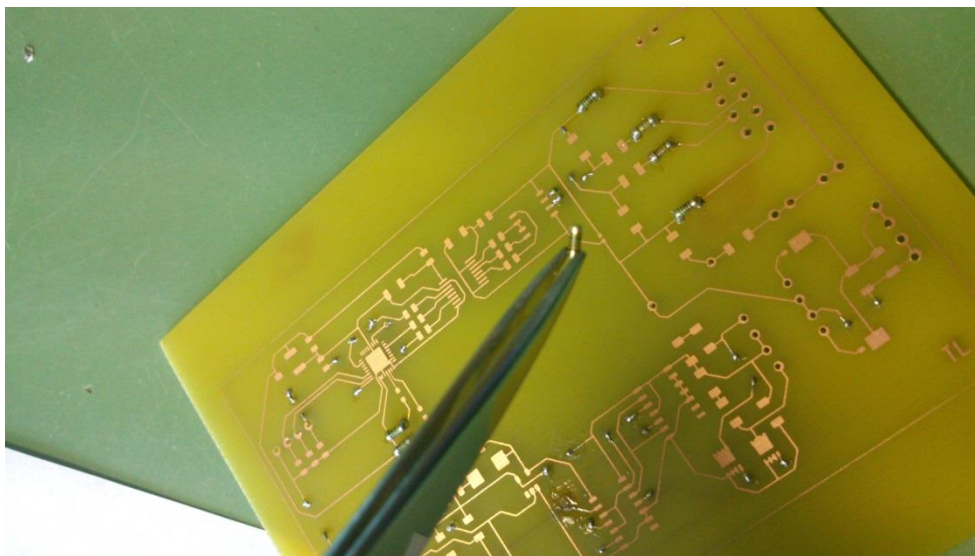


Figura: comienzo del soldado de componentes

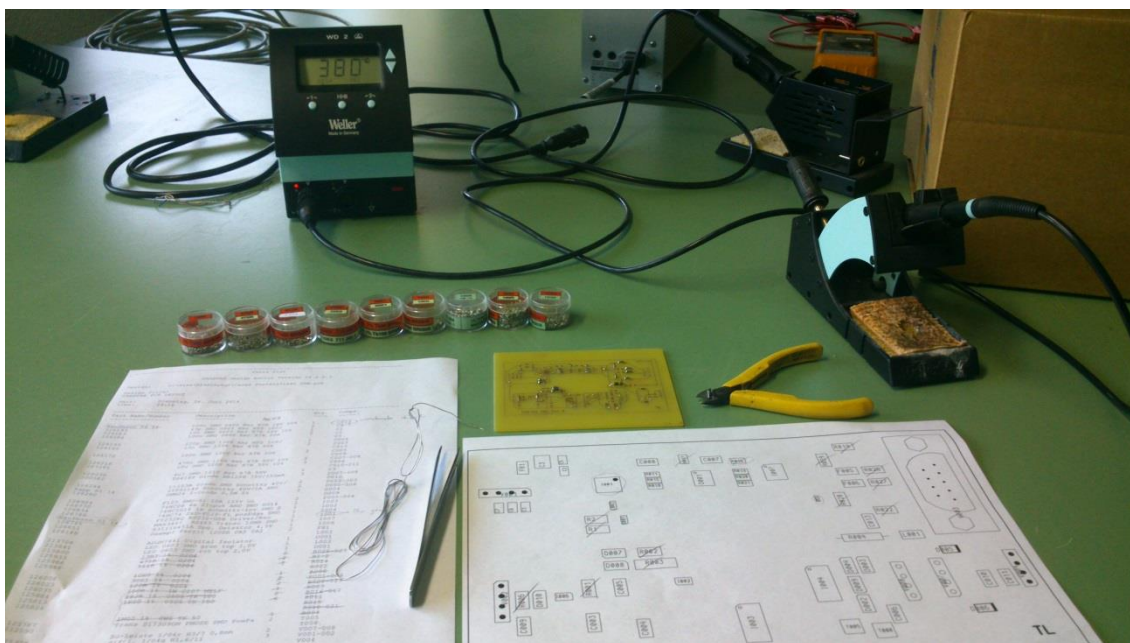


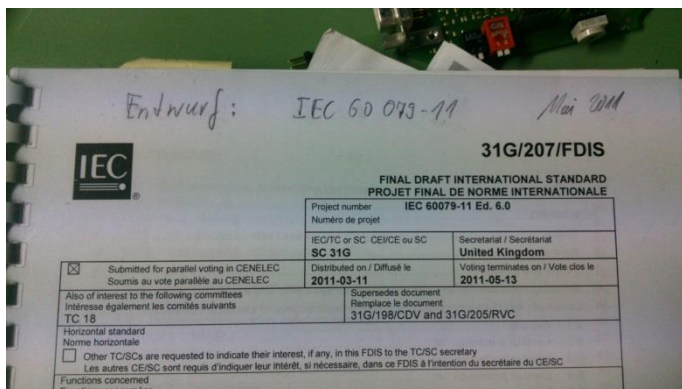
Figura: Soldado de componentes con informe de CADSTAR.





5.5 Testeado del circuito

Una vez que todos los elementos han sido soldados, se puede proceder por fin al testeado del circuito. En primer lugar se testeó la fuente de alimentación, alimentando con una fuente de 5V en el lado primario del transformador. El objetivo era obtener 5V también en el secundario. Para ello, y por ser un prototipo, se construyeron a mano una serie de transformadores con distintas relaciones de transformaciones, con el objetivo de compensar las pérdidas ocasionadas a lo largo del circuito, tanto por el cobre en sí como por la calidad de las soldaduras.



En la norma IEC 60 079-11, en el apartado de circuitos inductivos (Grupo II C), aparece una gráfica con las corrientes máximas admisibles para este tipo de circuitos.

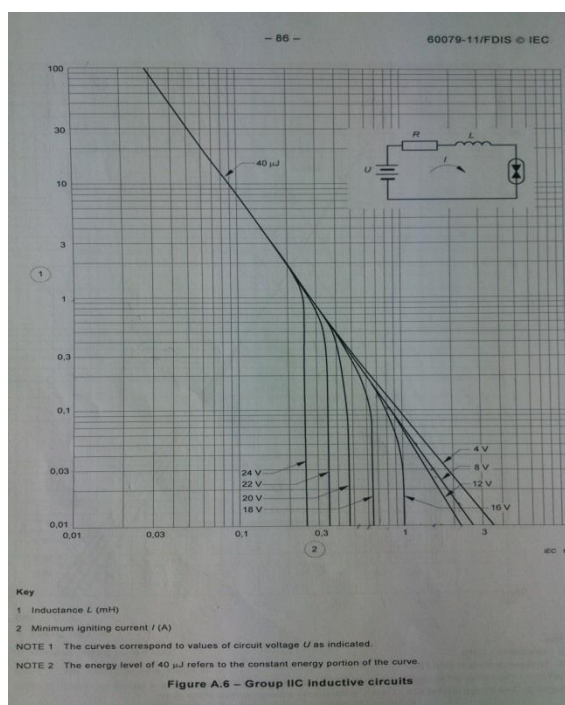


Figura: Intensidad máxima admisible para circuitos inductivos



En nuestro caso, tenemos una inductancia de:

$$L = 16.9 \mu H.$$

Aplicando el coeficiente de seguridad de 1,5:

$$L = 25.35 \mu H$$

Este dato en la tabla nos da una intensidad máxima admisible:

$$I_{max} = 1.7 A$$

Lo cual hará una intensidad nominal máxima de:

$$I_o = 1.7 \div 1.5 = 1.13 A$$

Este dato de intensidad es el máximo que se podrá medir en el circuito para que se ajuste a la norma y pueda considerarse intrínsecamente seguro.

Esta intensidad no podrá superarse en ningún punto del circuito, pero con las imperfecciones de las soldaduras, había en un principio cortocircuitos que hacían inviable alcanzar este dato.



5.6 Fabricado de una nueva revisión

Con lo aprendido en la fabricación de la primera revisión, se procedió a la construcción de otra revisión de la placa. Se aprovechó la oportunidad para reducir aún más si cabe las dimensiones de la misma.

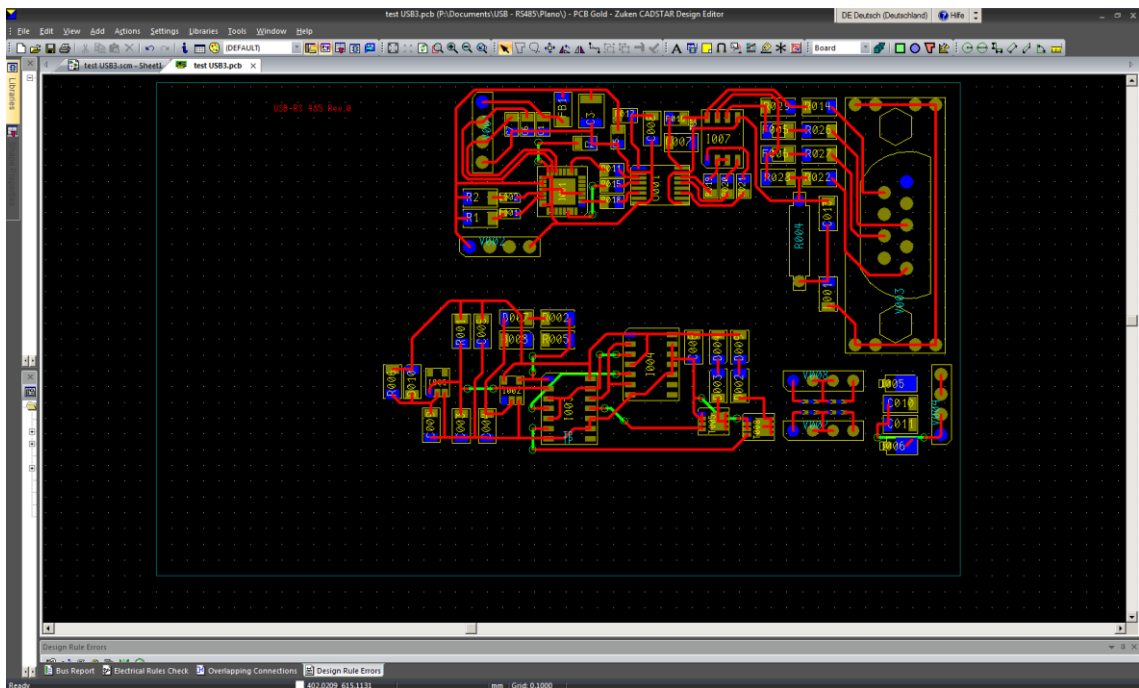


Figura: segunda revisión del circuito.

En la figura de arriba se puede ver el tamaño de la nueva placa con respecto a la original.

Tras su fabricación (siguiendo los mismos pasos que en la primera placa), se procedió directamente al testeo de la intensidad.

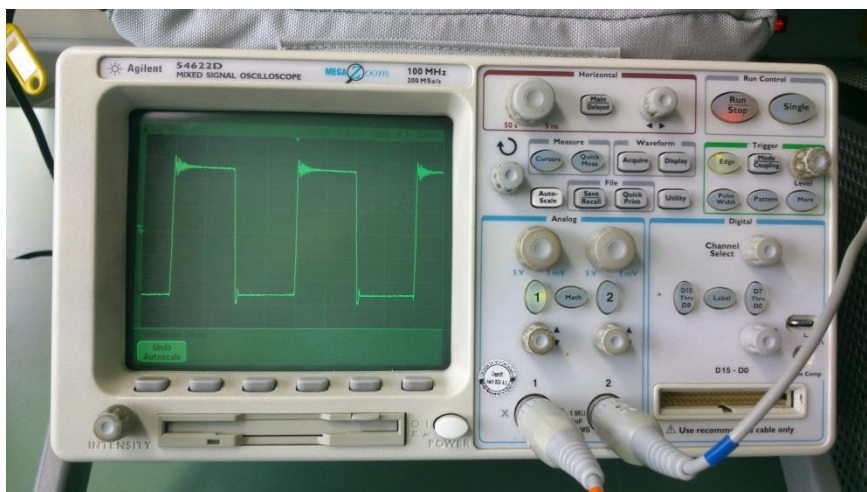


Figura: muestra de señal en osciloscopio

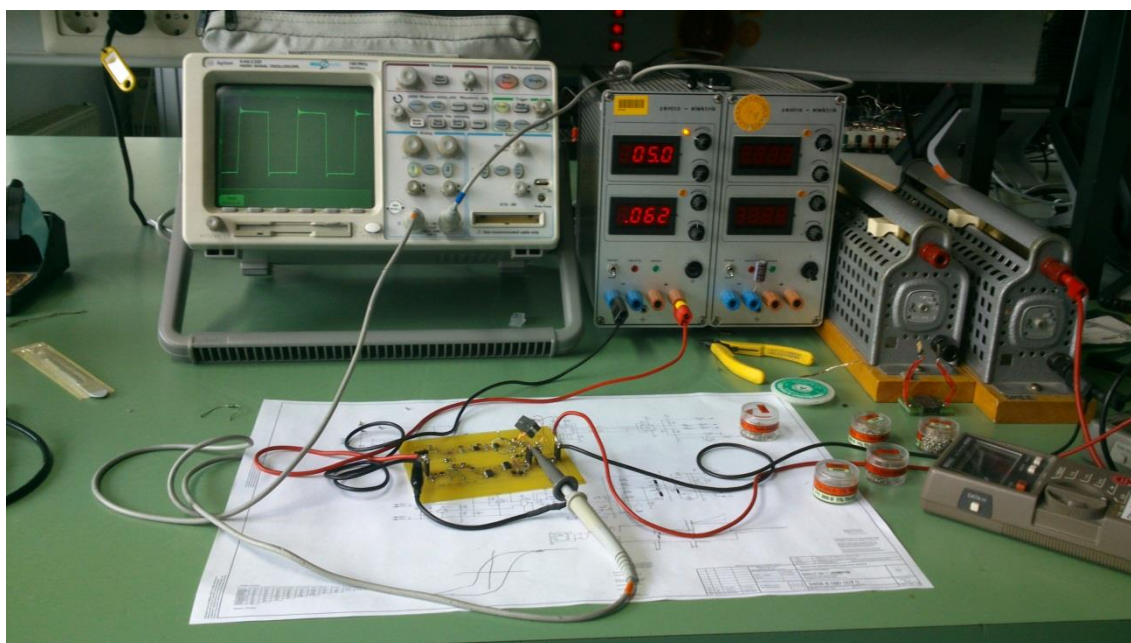


Figura: testeo de la corriente máxima de la placa

En esta ocasión, sí se alcanzó el propósito de no alcanzar la corriente máxima de 1.13 Amperios. Además, las señales que se transmitían por el puerto RS 485 se recibían correctamente en el puerto USB. Para ello se utilizaba un dispositivo que envía señales Modbus y desde el ordenador, mediante un programa llamado modscan, se pueden leer los datos emitidos desde el lado de RS485.

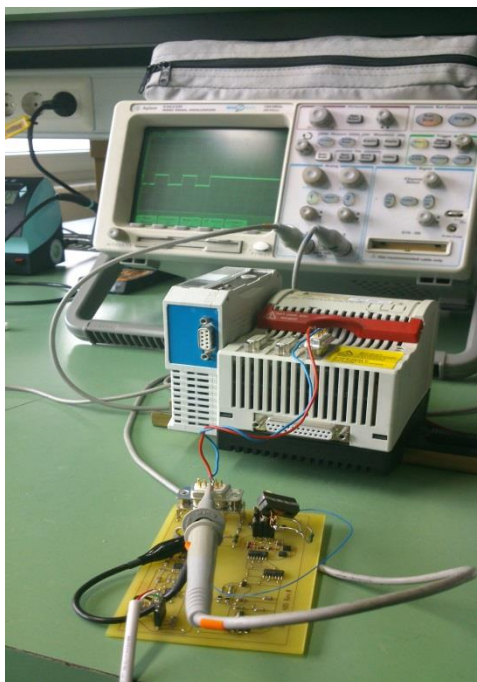


Figura: Dispositivo para simular señales Modbus



Tras la finalización de esta placa, se optó por hacer una revisión más, aprovechando una forma de placa real de Stahl, la cual sería para poder ser montada en bastidores especiales montados sobre Rail DIN. Así que se procedió a reordenar todos los componentes de la placa mediante el Cadstar.

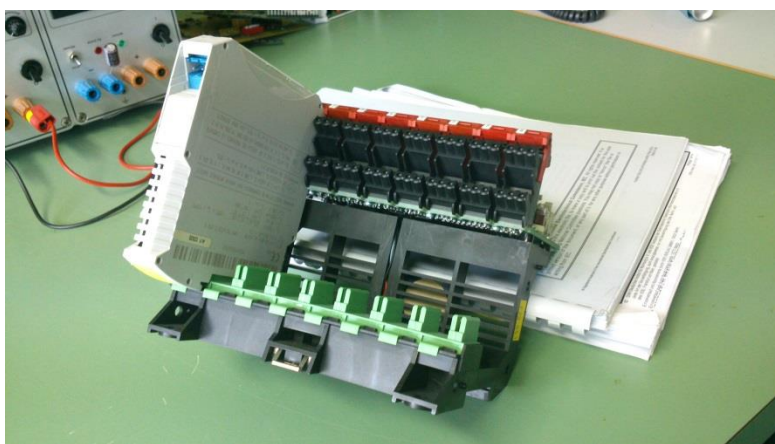


Figura: ejemplo de tarjeta para montaje en bastidor



5.7 Diseño de la última revisión.

Como se dijo anteriormente, se procedió a un nuevo diseño de la placa, una vez que ya estaba familiarizado con los procedimientos de la empresa y en general de la fabricación y montaje de placas electrónicas.

El diseño se realizó a partir de una plantilla ya existente, por lo irregular de su forma, intentando en este caso (al contrario que en los anteriores) maximizar el espacio entre componentes. La razón es sencilla, pues teniendo un espacio mayor que anteriormente, ya que es fijo y viene definido por la forma de la tarjeta, a mayor espacio entre componentes, mayor será la disipación del calor que estos generan. A continuación se puede ver en sucesivas figuras el diseño en el software que tendría posteriormente la placa:

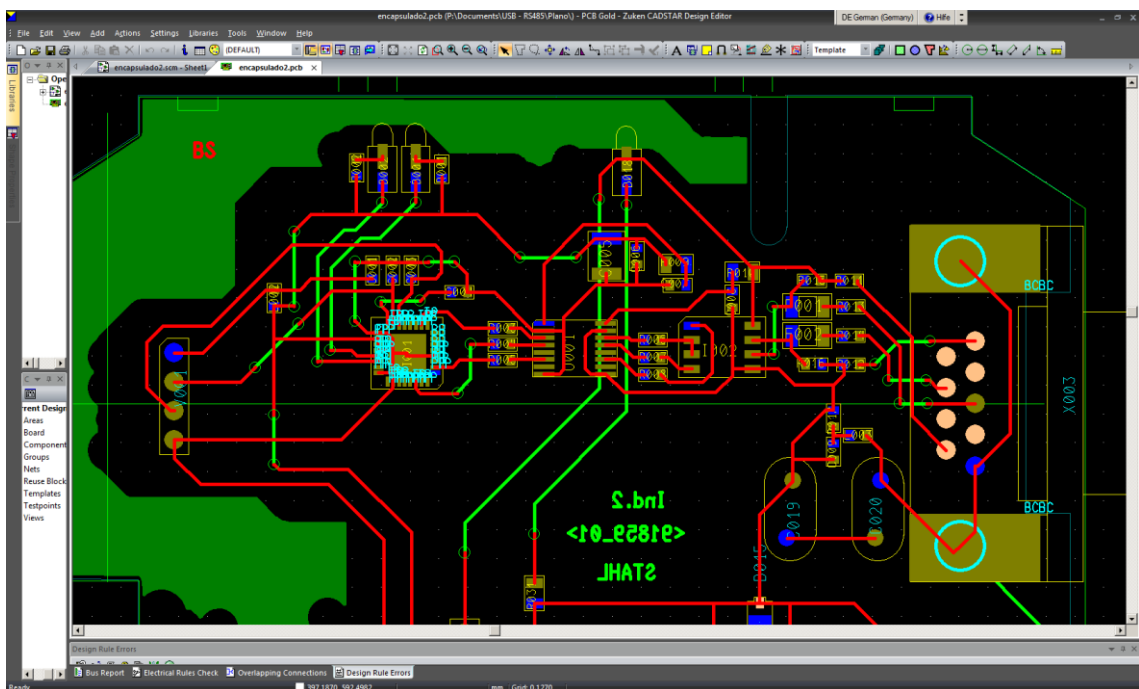


Figura: parte superior (transmisión de señales)

Como se puede apreciar, el propio software alerta cuando se incumplen determinadas normas de diseño.

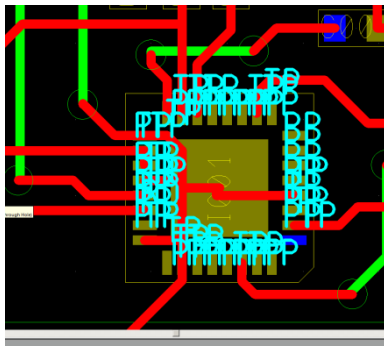


Figura: problemas soldadura

En el caso de la figura, las soldaduras estaban demasiado juntas con respecto a lo que estaba estipulado.

Una vez arreglado, la parte superior quedó de la siguiente manera:

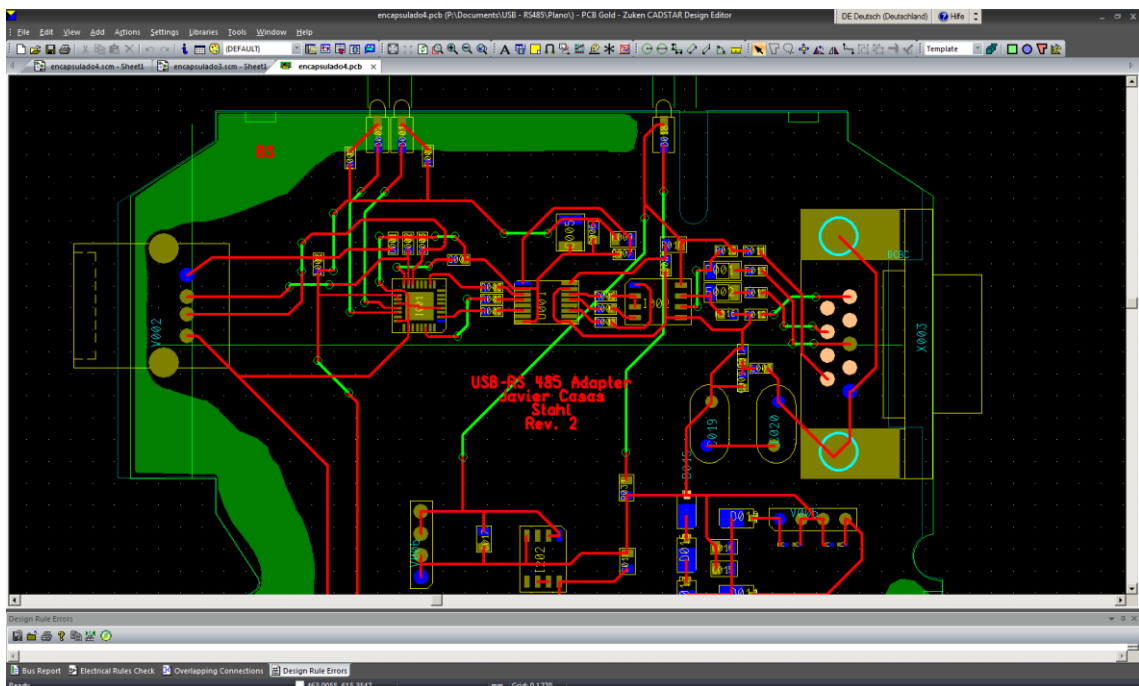


Figura: Parte superior definitiva

La parte de la fuente de alimentación se muestra a continuación. En ella se ha instalado un componente nuevo, un regulador de tensión. La razón de esta modificación, es la inexactitud que se lograba con los transformadores que se estaban utilizando. Con este



dispositivo, se aseguran 5 V a la salida del transformador, que sigue sirviendo como aislamiento galvánico.

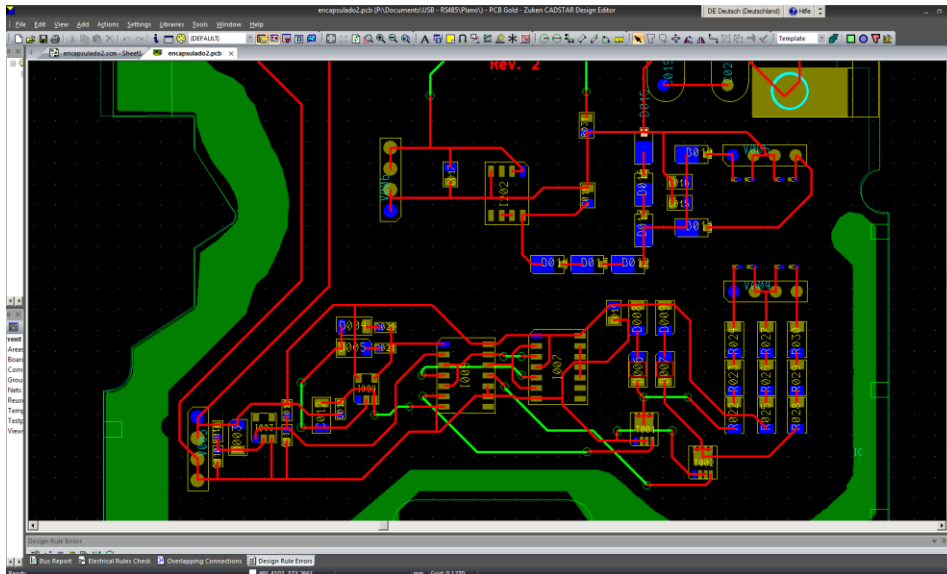


Figura: Fuente de alimentación

Una vez terminado el diseño, esta es la vista general del diseño:

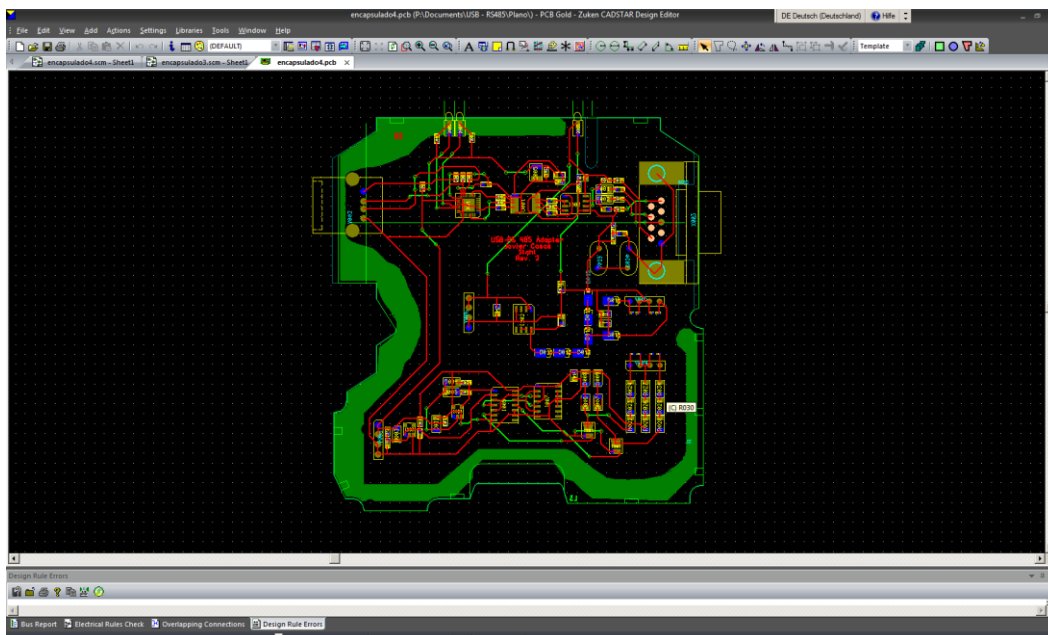


Figura: vista general de la placa definitiva en Cadstar 14



El resumen de los componentes utilizados en esta revisión se puede ver en la siguiente tabla:

Part Name	Description	Qty.	Comps.
171319	47 p SMD 0603 Ker COG 50J	2	C002-003
171321	10 n SMD 0603 Ker X7R 50K	4	C001
			C009
			C011
			C205
126186	100 n SMD 0603 Ker X7R 25K	4	C004
			C006
			C010
			C013
212566	470 n SMD 0603 Ker X7R 25K	2	C007
			C008
213704	10u SMD 0805 Ker X7R 10V	5	C014-018
126199	220 p SMD 1206 Ker NP0 100J	1	C012
126230	4u7 SMD 1210 Ker X7R 50V	1	C005
119314	2n2 20% 250V Ker Y	2	C019
			C020
200582	TS4148 Diode 0,5W 5%	3	D003
			D004
			D005
126244	LL103A Diode SMD Schottky 40V	2	D006
			D007
Rapp 01 14	STPS1L40 Schottky 40V/1A SMD	8	D010-017
126280	ZMM24 Z-Diode 0,5W 5%	2	D006-007
126924	F125 SMD 50A 125V UL	2	F001-002
126770	74HC08 4X Input AND SMD	1	I005
126834	74HC1G14 Schmitt- INV. SMD	1	I004
126786	74HC74 2X D-Flip Flop SMD	1	I007
Kaufmann 01 14	FT232RQ RS485-USB Driver-Rec	1	I001
126745	MAX3485 RS487 Transc. 10MB SMD	1	I002
126800	LP2951 U Regler var SMD	1	I202
126851	R3111N451A Spg Detektor 4,5 V	1	I003
211392	Daempfer Ferrit	2	L002-003
213708	ADuM 7441 Digital Isolator	1	O001
126725	LED 2mm SMD grün	2	D001
			D018



Part Name	Description	Qty.	Comps.
126724	LED 2mm rot	1	D002
125914	1R00 0204	9	R022-030
213049	18R2 0603	2	R013-014
169084	475R 0603	2	R001-002
Feucht 06 13	511R 0603	3	R011-012
			R021
169085	1K00 0603	6	R003-008
169088	10K0 0603	1	R018
204012	28K7 0603	2	R019-020
169096	100K 0603	2	R015-016
171309	1M00 0603	1	R017
125813	182R 0805	2	R009-010
125832	2K74 0805	1	R031
125835	3K92 0805	1	R233
125836	4K53 0805	1	R231
212590	Trans Si7309DN PMOSE SMD	2	T001-002



Tras su diseño, se fabricó y se volvió a testear, logrando incluso datos mejores que en la revisión anterior.

Así quedó la placa finalizada:

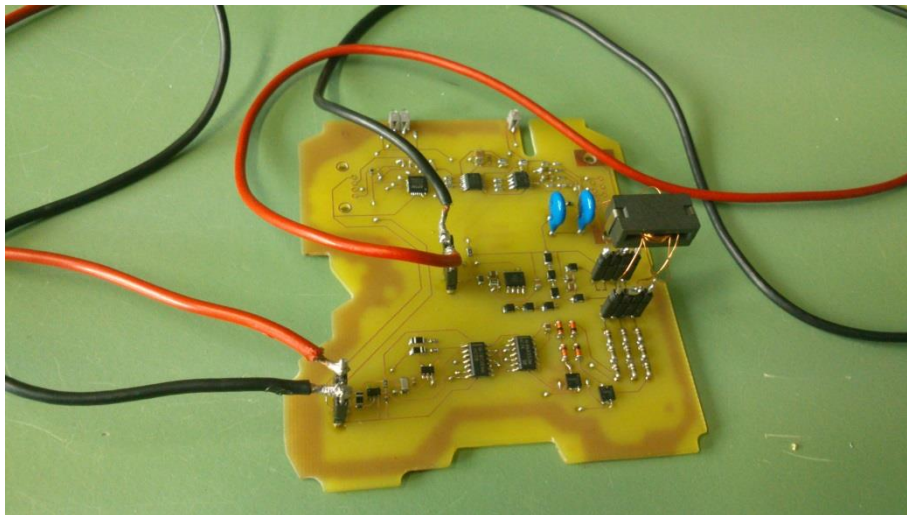


Figura: test de la placa definitiva

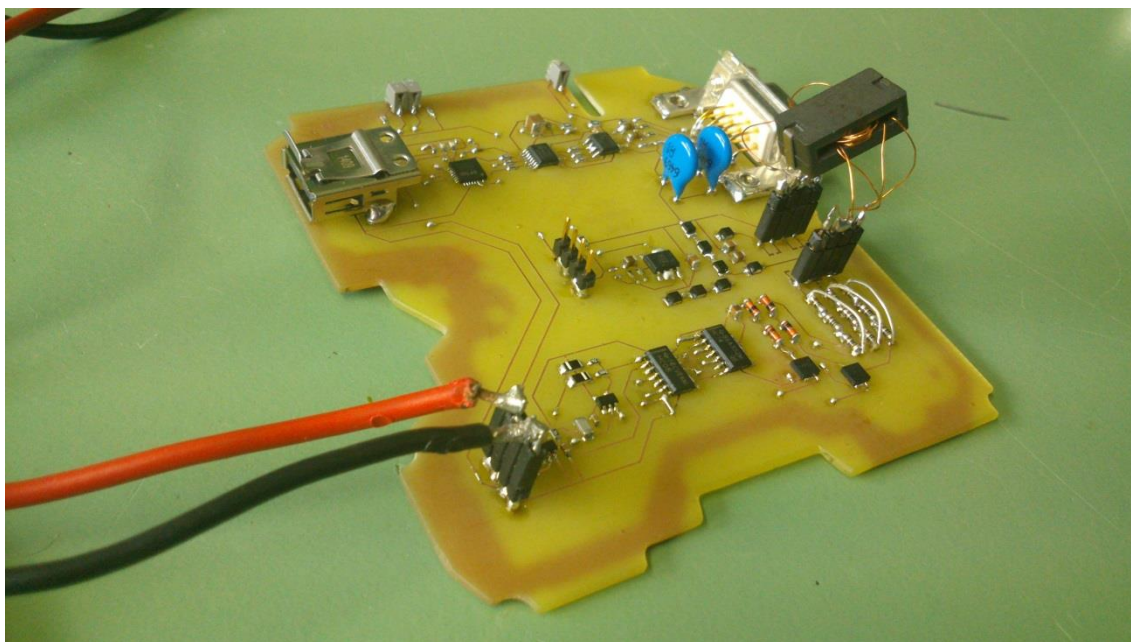


Figura: Placa definitiva con transformador artesanal.

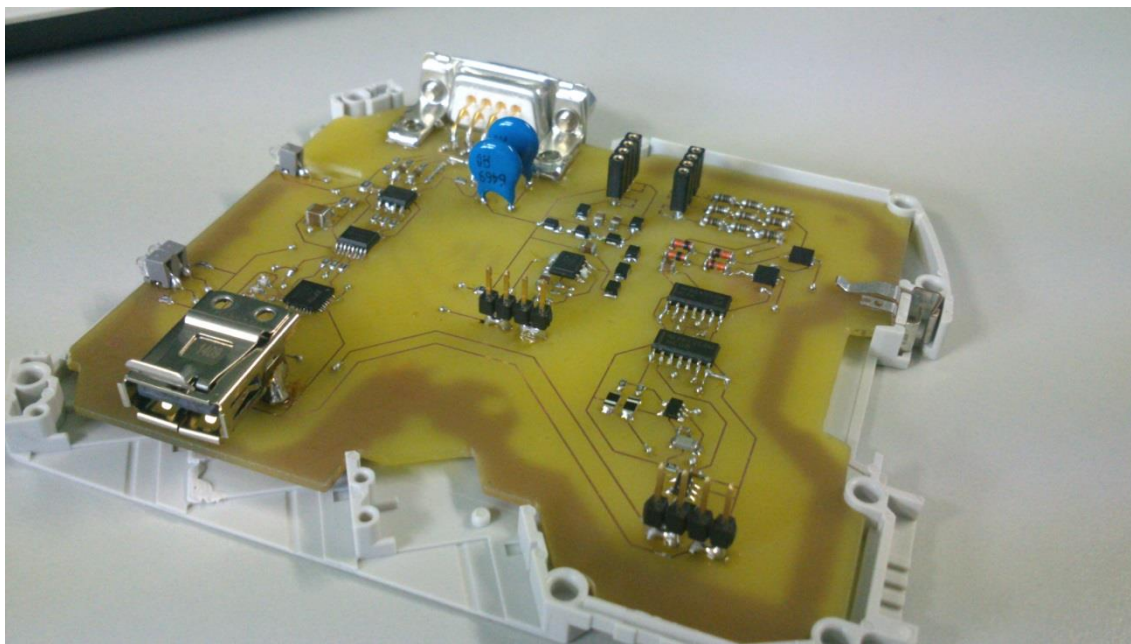


Figura: Placa definitiva terminada

Tras la finalización de estos test, terminé mi contrato en Stahl y la placa permaneció siendo propiedad de la empresa, que posteriormente continuaría con su proceso de testado antes de poder ser revisada por los técnicos que posteriormente aprobarían su diseño y procederían a su registro y a su fabricación en serie.



7 Conclusiones

Tras la finalización de estos test, termina el presente proyecto. Las conclusiones a las que llegamos son muy positivas, ya que en primera instancia, el circuito cumple con las especificaciones.

Ello no quiere decir que no haya margen de mejora. Esto es un prototipo, el primer circuito integrado que hago en mi carrera, mi primera soldadura. Una ejecución de más calidad implicará resultados incluso más satisfactorios.

Por otro lado, se han utilizado dos interfaces muy utilizadas en la industria del oil & gas, pero no quiere decir que no pueda mejorarse. Antes o después se terminará imponiendo el estándar USB 3.0, que dejará atrás las prestaciones del 2.0 a medida que se instaure en la industria.

Sin embargo, se espera por parte de la empresa Stahl que este dispositivo tenga una vida útil suficientemente larga para ser considerado un proyecto rentable de cara a la estrategia de la empresa, así como que sea un producto fácil de mejorar en el futuro.



8 Comentarios

Este proyecto ha significado mucho en mi corta experiencia. Por un lado, ha sido un acercamiento al mundo de la electrónica, que desde mi titulación no había podido alcanzar. Me parece muy interesante el poder ampliar conocimientos fuera de lo que estrictamente se refiere a las asignaturas cursadas, y esta experiencia me ha servido enormemente a ampliar mis conocimientos, que creo que es la mayor utilidad que puede tener un proyecto final de carrera.

A parte, esta experiencia la he desarrollado en el extranjero, y es algo que también me ha aportado mucho a nivel vital. Me ha servido para crecer enormemente como persona y como profesional. Ha sido una situación en ocasiones bastante dura, donde la barrera del idioma ha jugado un papel muy importante. Y no solo el idioma, pero las diferencias culturales entre España y Alemania son notables, y a pesar de no haber sido fácil al principio, el haber sabido resolverlo me ha hecho crecer mucho, lo cual me será de tremenda utilidad en mi crecimiento profesional.

En conclusión, decir que este proyecto fin de carrera ha supuesto un reto muy importante, como colofón a un camino muy difícil como lo es una ingeniería, el cual me ha servido para formarme mejor como ingeniero, ampliando mi espectro de conocimientos, y también como persona, donde la experiencia en el extranjero tiene incalculable valor.



9 Referencias

- **Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas.**

Requisitos generales:

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0022191>

- **Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas.**

Seguridad intrínseca "i".

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0029739>

- **Explosives atmospheres – Part 11**

<https://law.resource.org/pub/in/bis/S05/is.iec.60079.11.2006.pdf>

- **Proteccion contra explosiones. Fundamentos. Siemens**

https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/productbrief/es/explos_s.pdf

- **Protección contra explosiones. R. Stahl**

http://www.r-stahl.com/fileadmin/Dateien/Broschueren/EX-Pocket-Guide_EN_SCREEN.pdf

- **Normativa ATEX**

<http://www.atmosferasexplosivas.com/index.php/normativaatex>

- **Universal Serial Bus USB**

<http://www.usb.org/home>

http://www.informaticamoderna.com/El_puerto_USB.htm

- **RS-485**

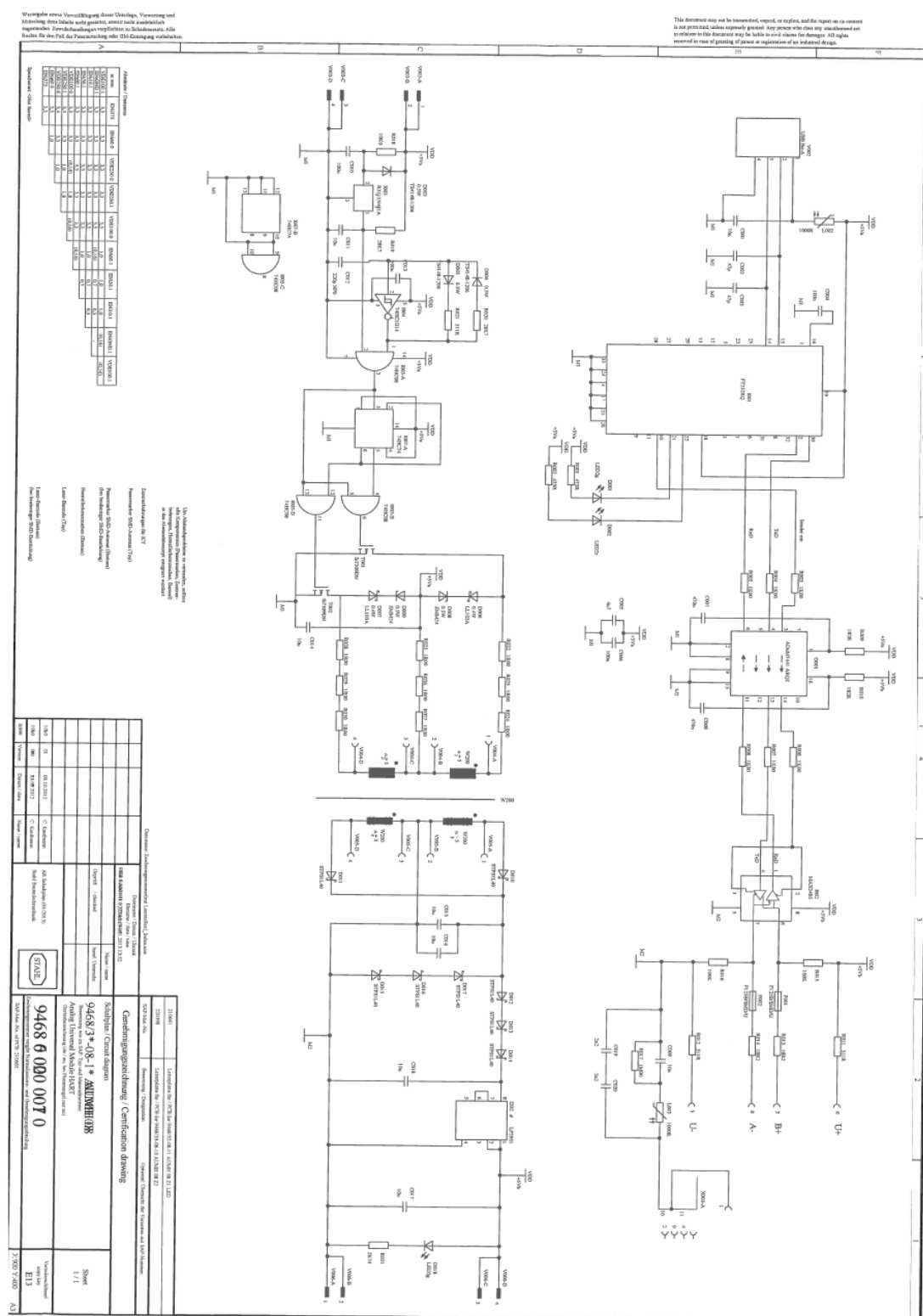
<http://www.rs-485.com/>

<http://www.puntoflotante.net/RS485.htm>

<http://www.automatas.org/abb/comunicaciones.htm>

10 Anexos

10.1 Esquema eléctrico del circuito





10.2 Plano localización de componentes

